

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

JAÍNE REUSE

**EFICIÊNCIA E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO EM SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO DE SUPERFÍCIE POR INUNDAÇÃO E ASPERSÃO A PIVÔ
CENTRAL**

**Alegrete
2023**

JAÍNE REUSE

**EFICIÊNCIA E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO EM SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO DE SUPERFÍCIE POR INUNDAÇÃO E ASPERSÃO A PIVÔ
CENTRAL**

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

Orientador: Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler

Coorientador: Prof. Dra. Natalia Braun Chagas

**Alegrete
2023**

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) .

R445e Reuse, Jaíne

Eficiência e aproveitamento energético em sistemas de
irrigação de superfície por inundação e aspersão a pivô
central / Jaíne Reuse.

65 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2023.

"Orientação: José Wagner Maciel Kaehler".

1. eficiência energética. 2. irrigação . 3. tubulações. 4.
motores. 5. bombas. I. Título.

JAINÉ REUSE

EFICIÊNCIA E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO DE SUPERFÍCIE POR INUNDAÇÃO E ASPERSÃO A PIVÔ CENTRAL

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharela em Engenharia Elétrica.

Trabalho defendido e aprovado em: 7 de dezembro de 2023.

Banca examinadora:

Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler

Orientador

Prof^ª. Dr^ª. Natalia Braun Chagas

Coorientadora

Prof. Dr. Eduardo Machado dos Santos

Profª. Drª. Fátima Cibeles Soares

Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete

2023



Assinado eletronicamente por **FATIMA CIBELES SOARES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 12/12/2023, às 08:10, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **NATALIA BRAUN CHAGAS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2023, às 15:40, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **EDUARDO MACHADO DOS SANTOS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 18/12/2023, às 18:10, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **José Wagner Maciel Kaehler, Usuário Externo**, em 19/12/2023, às 14:40, 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, informando o código verificador **1313740** e o código CRC **51D9A4C5**.

AGRADECIMENTO

Aos professores Drs. José Wagner Maciel Kaehler e Natalia Braun Chagas pela orientação, dicas, conhecimentos compartilhados e auxílios que foram de suma importância para o desenvolvimento do presente trabalho.

Aos familiares, amigos e todos que estiveram presentes durante o período da graduação, tornando tudo mais leve.

E, sem esquecer, um agradecimento os colegas de grupo por compartilharem ideias e tornarem os dias no Eire mais divertidos com as risadas e piadas sempre presentes.

Um sincero muito obrigada!

RESUMO

Utilizada como forma de suprimento de água aos cultivos, a irrigação de lavouras é de grande presença na região da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria. De forma a se buscar um melhor aproveitamento energético e hídrico na região, cabe o emprego da eficiência energética nos sistemas de irrigação, os quais comumente utilizados são os de irrigação mecanizada de superfície por meio de inundação ou aspersão a pivô central. Tendo o intuito de diminuição de perdas, aumento do rendimento, melhor operação dos sistemas, diminuição do consumo e até mesmo dos custos para a operação dos sistemas, o presente trabalho se trata de um estudo de eficiência energética nos sistemas de irrigação. Abrangendo os componentes dos sistemas, principalmente motores, bombas e tubulações de adução e recalque de água, fez-se uma revisão bibliográfica e estudo de caso dos principais fatores envolvidos, de forma a apontar as principais perdas, os fatores de interferência na eficiência das partes constituintes e do sistema como um todo. Constatou-se que existem vários fatores de interferência nos sistemas de irrigação de superfície por inundação e por aspersão a pivô central a serem analisados para uma melhoria da eficiência global do sistema.

Palavras-Chave: eficiência energética; irrigação; tubulações; motores; bombas.

ABSTRACT

Used as a way of supplying water to crops, irrigation is of great presence in the region of the Santa Maria River Basin. In order to seek a better use of energy and water in the region, it is important to use energy efficiency in irrigation systems, which commonly used are mechanized surface irrigation by means of flooding or center pivot sprinkler. With the aim of reducing losses, increasing yield, improving the operation of the systems, reducing consumption and even the costs of operating the systems, the present work deals with a study of energy efficiency in irrigation systems. Covering the components of the systems, mainly motors, pumps and water supply and discharge pipes, a bibliographical review and case study of the main factors involved were carried out, in order to point out the main losses, the interference with the efficiency of the constituent parts and the system as a whole. It was found that there are several interference factors in surface irrigation systems by flooding and sprinkler center pivot to be analyzed for an improvement of the global efficiency of the system.

Keywords: energy efficiency; mechanical irrigation; pipes; motors; pumps.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
1.1 Justificativa.....	12
1.2 Objetivos	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
2.1 Região Hidrográfica da Bacia do Rio Santa Maria.....	15
2.2 Irrigação	16
2.2.1 Irrigação por aspersão.....	18
2.2.1.1 Fatores de interferência na irrigação por aspersão a pivô central	20
2.2.2 Irrigação por inundação	22
2.2.2.1 Fatores de interferência na irrigação por inundação	23
2.2.2.2 Estruturação e sistematização	24
2.3 Tubulações.....	25
2.3.1 Fatores de interferência nas tubulações	26
2.4 Conjunto de motores e bombas em sistemas de irrigação	28
2.4.1 Bombas em sistemas de irrigação	28
2.4.2 Motores em sistemas de irrigação	32
2.5 Eficiência energética.....	33
2.5.1 Eficiência e aproveitamento energético em sistemas de irrigação	35
3 METODOLOGIA	40
4 DESENVOLVIMENTO	42
4.1 Índice pluviométrico	42
4.2 Cultivo do arroz irrigado.....	43
4.3 Cultivo da soja irrigada em rotação com o arroz.....	43
4.4 Cultivo do milho irrigado em rotação com o arroz	45
4.5 Produtividade dos cultivos	45
4.6 Características do local de cultivo	46
4.7 Irrigação por inundação	50

4.8 Irrigação por aspersão.....	50
4.8.1 Irrigação por aspersão no cultivo da soja	50
4.8.2 Irrigação por aspersão no cultivo do milho	51
4.9 Perdas, rendimento e potência	52
4.10 Consumo de energia elétrica	55
4.10.1 Consumo de energia elétrica no cultivo do arroz.....	56
4.10.2 Consumo de energia elétrica no cultivo da soja	57
4.10.3 Consumo de energia elétrica no cultivo do milho	58
4.11 Eficiência energética no sistema de irrigação	60
4.12 Custos e produtividade do sistema de irrigação	61
4.13 Comparativo entre os cultivos de arroz, soja e milho.....	63
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	65
REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Atrelada ao avanço das tecnologias e utilizada de forma a compensar uma escassez de chuvas e falta natural de água, a irrigação tem gerado um impacto positivo no cultivo de culturas agrícolas uma vez que, com sua utilização, torna-se possível alcançar maior produção e rendimento e uma significativa redução de riscos para o cultivo em questão. No Brasil, a irrigação de lavouras é responsável por até 49,8% do uso da água no país (ANA, 2019).

No estado do Rio Grande do Sul, na região da fronteira oeste, o uso da água de reservatórios teve início com o objetivo de dessedentação animal, evoluindo para o uso na irrigação, o qual teve início com o cultivo de arroz. Por pertencer ao perfil geográfico da campanha, abrangendo terrenos de planícies, tal região é muito propícia e ideal para o cultivo do arroz por meio do processo de irrigação por inundação do solo, que tende a ocorrer de forma mais uniforme em virtude dos tipos de terrenos mais planos encontrados nesta área geográfica.

Inicialmente na região, na qual é comum e de marcante presença a criação de gado de corte, as barragens eram utilizadas para dessedentação animal, visto que haviam períodos de seca nos quais os mesmos precisavam ser realocados para outras regiões. A construção de barragens e açudes tornou-se uma solução para tal contratempo e, com o passar do tempo, passaram a ser utilizadas também como fonte de água para o cultivo do arroz, a mesmo modo que para outras culturas.

Tecnologias de equipamentos, motores e bombas evoluíram bastante e tendem a continuar evoluindo, propiciando uma melhor qualidade e eficiência no serviço de irrigação, tanto para o âmbito agrícola quanto para o energético. Contribuindo também no quesito eficiência energética cabe citar o correto dimensionamento de motores e bombas, os quais operando de forma correta suprem as necessidades de irrigação e contribuem com um aproveitamento energético mais satisfatório.

Motores e bombas com tecnologias atuais, de maior rendimento, associados à sua correta utilização com base no fator rendimento, redução de cotovelos e curvas nas tubulações de sucção e recalque de água e bom estado de conservação das mesmas, entre outros, são alguns dos fatores de impacto na eficiência de sistemas de irrigação, abrangendo os domínios agrícola e energético em que, neste último, uma maior eficiência está relacionada diretamente com uma redução de consumo de energia. O uso de inversores no controle da vazão das bombas, através da variação

da velocidade aporta os principais avanços na eficiência energética e qualidade de energia.

A economia de energia e eficiência energética têm se tornado assunto muito falado nos últimos anos, uma vez que, com o crescimento populacional e evolução das tecnologias ocorre um aumento do consumo de energéticos. Houve um aumento considerável da população brasileira nos últimos anos, ao que, no ano de 2012 contava com 193.904.015 pessoas e no ano de 2021 com 213.317.639 pessoas, resultando em um aumento de 19.413.624 pessoas em sua população neste período de nove anos (IBGE, 2021).

Concomitantemente ao aumento populacional, há a oferta interna de energia elétrica, a qual era de 592.753 GWh no ano de 2012 e de 679.212 GWh no ano de 2021, resultando em um aumento de 86.459 GWh neste mesmo período de nove anos (EPE,2021). É possível perceber, a partir de tais dados, que conforme há um aumento da população há um aumento de consumo e, atrelado a este, deverá haver a oferta de energéticos.

Sendo assim, deve-se garantir um fornecimento dessa energia a ser consumida, o que pode acabar por se tornar de difícil alcance com o passar do tempo, uma vez que uma rápida evolução implica no aumento de consumo de energéticos. Para contrabalancear um aumento de consumo de energia e garantir que haja um fornecimento da mesma, cabe citar a eficiência energética, a qual trata-se de um consumo com aproveitamento consciente e da melhor maneira possível da energia elétrica.

Dado o exposto, nota-se a importância da busca por eficiência energética, a qual se dá principalmente por meio da utilização de forma racional e da redução do consumo de energéticos, bem como um melhor aproveitamento e possível redução na demanda tendo, por consequência, redução dos impactos na rede elétrica, as quais possuem o empecilho de déficits na região em estudo. À vista disso, o presente trabalho tratar-se-á de um estudo de fatores e características de sistemas de irrigação e tecnologias envolvidas no processo.

1.1 Justificativa

A agricultura desempenha um papel importante na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, sendo responsável por movimentar grande parte da economia,

apresentando grande relevância para o desenvolvimento regional. Tem-se como principal cultivo o arroz irrigado, desempenhando papel essencial na oferta de alimento, contribuindo também com os setores de transporte e indústrias locais.

Visto que o setor agrícola desempenha um papel importante na região, cabe citar a importância de aprimorar os sistemas de irrigação. Com a aplicação da eficiência energética em tais sistemas, ter-se-á melhorias de desempenho e no aproveitamento dos recursos energéticos, contribuindo tanto no quesito energético quanto hídrico e ambiental.

A justificativa do presente trabalho se dá com base na constatação de que os agricultores e produtores da região possuem um vasto suporte voltado às questões agrícolas do cultivo, porém, nota-se uma certa negligência em relação ao setor energético dos sistemas de irrigação. Esta lacuna acaba por gerar impactos na eficiência de funcionamento dos sistemas podendo resultar em desperdícios de recursos.

Nos sistemas de irrigação, quando aplicadas medidas de eficiência energética, busca-se melhorias no seu desempenho, de forma a operar sob maior rendimento, menores perdas e maior aproveitamento energético em todas as etapas constituintes do sistema. Desta forma, contribuindo tanto ao quesito energético, quanto o ambiental e agrícola, podendo até gerar economias no consumo de energia elétrica a partir de um correto dimensionamento dos sistemas.

Alinhado com a formação acadêmica em engenharia elétrica, com pesquisas e estudos já realizados e com o projeto de Exploração Integrada de Recursos Energéticos na Bacia do Rio Santa Maria: Enfoque no Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental Sustentável no Polo da Agricultura Irrigável, o presente trabalho visa um estudo sobre a lacuna no quesito energético dos sistemas de irrigação, com o intuito de buscar formas de promover melhorias, aproveitamento energético e de recursos. Busca-se, por meio da eficiência energética, beneficiar os agricultores e produtores, bem como o meio ambiente, contribuindo tanto no quesito energético quanto ambiental.

1.2 Objetivos

Tendo em vista o intento de aplicação de medidas de eficiência energética em sistemas de irrigação, o presente trabalho tem por objetivos investigar e analisar

eficiência energética em tais sistemas, com foco em irrigação de superfície por aspersão mecanizada a pivôs, empregados nas culturas de grãos como o trigo, a soja e o milho, e por inundação, empregado da cultura do arroz irrigado na região da bacia hidrográfica do Rio Santa Maria.

Sendo assim, para que os objetivos gerais de eficiência e aproveitamento energético sejam atingidos dever-se-á atingir os seguintes objetivos:

- estudos dos componentes constituintes dos sistemas de irrigação;
- realizar um estudo sobre os sistemas de irrigação utilizados na região;
- diferenciação entre os sistemas de irrigação de superfície por inundação e por aspersão a pivô central;
- identificar os fatores de interferência no quesito eficiência energética nos componentes constituintes dos sistemas de irrigação;
- buscar métodos para mitigar as perdas e atingir mais eficiência no sistema de irrigação.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Os sistemas de irrigação são compostos por vários estágios, sendo os mais básicos a adução e o recalque de água por meio de tubulações, denominadas tubulações de sucção e tubulações de recalque respectivamente, realizada por meio da utilização de motores e bombas, e o uso final, o qual se trata da irrigação. A irrigação é um processo que pode se dar por vários métodos como a irrigação de superfície, por aspersão, localizada, de subsuperfície, natural e mecanizada.

Nesse trabalho serão abordados os conceitos básicos sobre os métodos de irrigação por inundação e por aspersão a pivôs, bem como, os sistemas motores e bombas, as tubulações, a problemática envolvida em tais sistemas e o uso final da irrigação, de forma a se buscar um melhor aproveitamento e eficiência energéticos em sistemas de irrigação.

2.1 Região Hidrográfica da Bacia do Rio Santa Maria

A Região da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria, localizada no estado do Rio Grande do Sul, abrangendo os municípios de Cacequi, Dom Pedrito, Lavras do Sul, Rosário do Sul, Sant'Ana do Livramento e São Gabriel possui uma área de 15.740,58 km² (Sema, 2021). Inicialmente, nesta região, representada pela Figura 1, as barragens e açudes haviam sido construídos com o objetivo de dessedentação animal, em razão dos períodos de secas e estiagem, para que os mesmos não precisassem ser realocados.

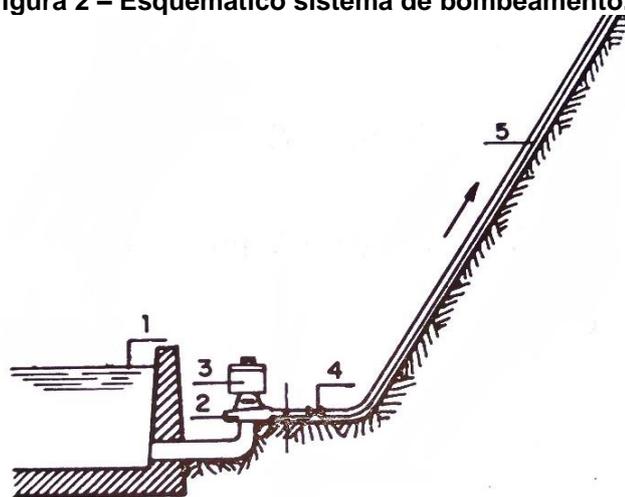
Com o passar do tempo e desenvolvimento da região, iniciou-se o plantio e cultivo de lavouras de arroz irrigado, para o qual a região é propícia em razão de seu relevo ser do bioma pampa, com amplas regiões de planícies. Uma vez que a cultura do arroz necessita de irrigação, as barragens já existentes passaram a ser utilizadas também para este fim, bem como, posteriormente, para irrigação de outras culturas a serem cultivadas na região.

O estado do Rio Grande do Sul domina a maior produção de arroz do país, produzindo entre 3.467,00 e 6.934,40 mil quilogramas na produção de 2022/23, no sétimo levantamento. Tendo uma área plantada de 862,6 mil hectares e uma produção de 6.934,4 mil quilogramas, o estado atingiu uma produtividade de 8.038,95 quilogramas por hectare (Conab, 2023)

os ventos, os sistemas de motores e bombas e a distância das barragens e conjunto de máquinas do local a ser irrigado, uma vez que estes causam interferências diretas no sistema.

Os sistemas de irrigação são compostos, no geral, por tubulações de sucção e recalque de água, motores e bombas, sendo estes componentes responsáveis pelo transporte da água do reservatório para o uso final, o qual se trata da irrigação. Representado na Figura 2, tem-se o reservatório de água, as tubulações e o conjunto motor e bomba, onde cada uma das partes do sistema de irrigação desempenha uma função específica.

Figura 2 – Esquemático sistema de bombeamento.



Fonte: (Macintyre, 2010).

Na região da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria a água utilizada para a irrigação provém, na maioria dos casos, de barragens ou represas construídas para tal finalidade; há também os casos em que se utiliza água de açudes de menor porte e água de algum rio ou canal que esteja nas proximidades da propriedade. Deve-se considerar, para os sistemas de irrigação, a altura da coluna de água e a altura manométrica – H_m – do sistema, a qual se trata da altura para a qual a bomba terá que elevar o fluido em questão, representada em (2). Esta altura está relacionada com a altura geométrica – H_g – a qual se trata da altura física, e com as perdas do sistema. A vazão do sistema, que comumente é representada em unidade de metros cúbicos por segundo e pode ser obtida por (1).

$$Q = \frac{q_{total}}{h * 3600} \quad (1)$$

Onde:

Q : vazão [m^3/s];

q_{total} : vazão [m^3];

h : número de horas para cálculo [h].

$$Hm = Hg + Js + Jr \quad (2)$$

Onde:

Hm : altura manométrica [m];

Hg : altura geométrica total [m];

Js : comprimento equivalente de perdas na sucção [m];

Jr : comprimento equivalente de perdas no recalque [m].

Dentre as formas de irrigação existentes, a mais utilizada na região em estudo costuma ser a irrigação por superfície, a qual pode ser realizada pelo método pressurizado e não-pressurizado. Para o cultivo da soja, milho, trigo e pastagens é utilizado o método pressurizado, o qual é realizado por meio de aspersão pelo sistema mecanizado de pivôs ou canhões hidráulicos. Já para o cultivo do arroz utiliza-se o método não-pressurizado de irrigação por inundação.

Nos períodos de safra preponderam os processos produtivos de uso final em irrigação, já nos períodos de entressafra tem-se a secagem e armazenagem de grãos. Assim como ocorre a transição entre cultivos, ocorre também a transição da irrigação, onde a irrigação mecanizada de inundação utilizada para a cultura do arroz irrigado transita para a irrigação por aspersão a pivôs e canhões hidráulicos utilizada na cultura da soja, milho, trigo e pastagens.

2.2.1 Irrigação por aspersão

Sistemas de irrigação por aspersão a pivôs tratam-se de um tipo de sistema de irrigação mecanizada onde o solo é molhado por meio de aspersão de água, o qual consiste de uma espécie de borrifamento de água por sobre o cultivo em questão, sendo este de alguma espécie de planta que não necessite do encharcamento do solo. A irrigação por aspersão atua de forma a simular uma chuva sobre a cultura a ser irrigada.

A irrigação por aspersão, representada pela Figura 3, é muito utilizada para o cultivo da soja, do trigo e do milho na região – uma vez que se adequa à quantidade de água necessária à cultura – onde o mais utilizado é o sistema de aspersão por

pivôs, comumente do tipo pivô central. O pivô central se trata de uma torre fixa, na qual tem-se um motor responsável pela movimentação do sistema e, acoplado a esta torre tem-se o sistema de irrigação que rotaciona em torno da mesma de forma a cobrir uma área circular.

Para tal método de irrigação a água é conduzida por meio do uso de motores e bombas, canalizada até a torre e, a partir disso, segue para as tubulações de distribuição até o ponto final do sistema, o qual se trata dos aspersores. Os aspersores são componentes que atuam sob pressão fazendo com que a água seja expelida de forma a se espalhar por sobre o cultivo e simular uma chuva artificial.

Figura 3 – Sistema de irrigação por aspersão.



Fonte: (Pennacchi, 2021; atual. 2023).

Nos sistemas por aspersão, o serviço requerido pelo processo produtivo da irrigação é a nível de pressão, a qual deve ser suficiente para operar os aspersores e o canhão na extremidade da tubulação de distribuição. O nível de pressão depende da área de cobertura de irrigação assegurada pela tecnologia; sendo muito baixa a pressão, ter-se-á interferências no alcance e vazão da água no sistema.

Para a implantação de qualquer sistema de irrigação deve-se levar em consideração fatores como o tipo de solo, o cultivo, a declividade e características do terreno, pressão e vazão da água, a distância entre a área a ser irrigada e o armazenamento da água, características ambientais e climáticas, entre outras, que causam interferências no resultado final do sistema (Salassier, 2006). A interferência de tais características, bem como vantagens e desvantagens dos sistemas por aspersão são citados em 2.2.1.1.

2.2.1.1 Fatores de interferência na irrigação por aspersão a pivô central

Um dos fatores mais importantes dos sistemas de irrigação por aspersão, no caso em questão de pivôs centrais, é a pressão com que a água chega aos aspersores. Uma vez que a água não tenha pressão suficiente, implicará no mau funcionamento do sistema, visto que a água não será corretamente expelida, não sendo lançada por sobre o cultivo, e os aspersores também terão o movimento de rotação comprometido, sendo a pressão de vazão da água a responsável por tal movimento dos mesmos.

Visto que o sistema de irrigação por aspersão simula uma espécie de chuva artificial por sobre o cultivo, deve-se ter atenção para que a água seja distribuída uniformemente e de modo que não cause alagamento ou o encharcamento do solo, onde o coeficiente de uniformidade pode ser obtido por meio de (3). Sendo assim, em tal método pode-se optar por realizar a irrigação com uma maior frequência, fazendo-se a rotação do sistema de pivôs, de modo que o mesmo não fique concentrado muito tempo em um mesmo local para que o solo não fique encharcado. Como o sistema estará rotacionando, ele irá passar mais vezes pelo local a ser irrigado, de forma a se ter uma distribuição mais contínua, mais frequente e de menor intensidade a cada passagem (Salassier, 2006).

$$CUC = 100 * \left(1 - \frac{\sum Si \left| Xi - \frac{\sum Xi Si}{\sum Si} \right|}{\sum Xi Si} \right) \quad (3)$$

Onde:

CUC: coeficiente de uniformidade [%];

Xi: lâmina de água coletada [mm];

Si: distância do coletor *i* ao ponto do pivô [m]

De forma a colaborar com uma distribuição mais contínua da água por sobre o cultivo, o sistema de aspersão do tipo móvel ou portátil, com movimentação mecânica sobre rodas, além da vantagem de fazer a distribuição da água de forma contínua e uniforme por toda a cultura, possui ainda a vantagem de redução de mão de obra (Salassier, 2006). Uma vez que a operação do sistema é realizada com força mecânica por um motor na base fixa do pivô central, não se torna necessário realocar o sistema de irrigação de forma manual, além de prover uma mesma velocidade de rotação no sistema. Cabe destacar também que os motores responsáveis pelo

deslocamento do sistema de pivôs comumente são movidos a combustível como o diesel em casos de insuficiência na rede elétrica.

Considerando que o terreno para o cultivo da soja não necessite ser em um local plano, como no caso do cultivo do arroz irrigado, pode-se ainda manter a irrigação por sistemas de aspersão por pivô central, uma vez que estes oferecem adaptabilidade à terrenos com certa declividade e irregulares. Outro ponto a se considerar em relação ao solo é o tipo de solo no qual será realizado o cultivo, onde a vazão do sistema de aspersão deve ser regulada de forma que toda a água deva infiltrar no solo, sem gerar alagamento superficial e sem gerar encharcamento do solo, evitando desperdícios.

Para a implantação do sistema de aspersão dever-se-á levar em consideração alguns fatores em relação ao terreno, onde a instalação do sistema de irrigação por aspersão é realizada de forma a manter a sua tubulação de distribuição com suas linhas laterais perpendiculares à maior declividade do terreno (Salassier, 2006). Sendo assim instalado de forma a não gerar muita variação de pressão entre os aspersores.

Ainda de grande importância e influência para a irrigação por aspersão, no âmbito ambiental, deve se considerar os fatores climáticos da região. Uma vez que a água cai em forma de chuva artificial, ou seja, pequenas gotículas de água, alguns fatores climáticos acabam por causar perdas no sistema; dentre tais fatores cabe citar ventos e umidade do ar. Os ventos superiores a 5 km/h seriam prejudiciais ao sistema em razão do arrastamento da água, gerando perdas pois a água não estaria sendo direcionada para as plantas corretamente; já a falta de umidade no ar, combinada com um clima quente, causará uma evaporação das gotículas de água, implicando também em perdas para o sistema (Salassier, 2006).

Outro fator a se considerar para os sistemas de irrigação por aspersão é a água utilizada em tais sistemas. A qualidade da água também pode causar interferências no sistema, uma vez que a presença de sedimentos e partículas pode obstruir a passagem de água pelos aspersores, implicando no mau funcionamento do sistema e, caso haja uma acidez elevada na água, haverá a corrosão das tubulações pelas quais esta água estará sendo conduzida (Salassier, 2006).

2.2.2 Irrigação por inundação

A irrigação pelo método de inundação trata-se de uma forma de irrigação de superfície, a qual realiza-se por um método não-pressurizado com encharcamento do solo no qual se desenvolve o cultivo. Muito utilizado no cultivo do arroz irrigado, esse método, representado pela Figura 4, está bastante presente na região da Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria.

Para o serviço energético do processo produtivo de irrigação do arroz é requerida uma lâmina d'água de 10 cm nos quadros de plantio, a qual deve ser mantida. Sendo assim, há a necessidade de manter uma vazão de complementação para assegurar a lâmina d'água, sendo este um sistema no qual não se requer pressão, somente volume de vazão.

Podendo ser realizado por meio da gravidade ou com força mecânica de bombeamento de água para conduzir a água à lavoura, a irrigação por inundação se trata de uma das mais simples formas de irrigar uma cultura. Este método de irrigação pode ser realizado por meio do bombeamento da água, uma vez que a região a ser irrigada esteja em um nível mais elevado que o reservatório de água. Caso o nível da lavoura esteja abaixo do nível do reservatório, não se torna necessária a utilização de equipamentos de bombeamento, podendo a irrigação ser realizada por meio da força da gravidade.

Figura 4 – Sistema de irrigação por inundação



Fonte: (Irrigat, 2019).

Uma das características mais importantes da irrigação por inundação é o quesito volume de vazão, diferente dos sistemas por aspersão, nos quais o quesito

mais importante era a pressão de vazão. Para que haja um melhor aproveitamento, deve-se iniciar a irrigação com uma grande vazão de água e ir diminuindo-a conforme o solo começa a ser encharcado (Salassier, 2006). Como em outras formas de irrigação, no método por inundação deve-se ter atenção a alguns fatores de interferência, os quais são apresentados em 2.2.2.1.

2.2.2.1 Fatores de interferência na irrigação por inundação

O método de irrigação por inundação apresenta uma vantagem em relação às características da água utilizada uma vez que, por ser um sistema mais robusto, é aceitável uma quantidade de sedimentos na água. Diferente do método de irrigação por aspersão, o qual pode acabar obstruindo a passagem da água nos aspersores; no método por inundação a água é conduzida por tubulações de diâmetro maior e é despejada diretamente na lavoura, de forma que pequenos sedimentos não interferem no funcionamento do sistema no quesito fluxo e vazão de água. Cabe, porém, o uso de filtros para não causar interferência dos sedimentos em outras partes do sistema.

Para esta forma de irrigação deve-se ter alguns cuidados quanto às características do terreno em relação às perdas de água. Por exemplo, a inclinação do terreno deve ser leve, mas o suficiente para que a água seja encaminhada da parte mais alta para a mais baixa. Neste tipo de irrigação, a água é despejada no nível mais alto do terreno e desce por gravidade ao ponto mais baixo, no sentido da inclinação do mesmo. Sendo assim, deve-se, também, ter o cuidado para que não haja um desperdício, uma vez que se perca o controle em relação à quantidade e vazão de água, a mesma irá seguir pela declividade do terreno para regiões onde não é necessário irrigar, sendo esta quantidade de água perdida.

Um outro fator importante e para se levar em consideração no uso da irrigação por inundação é o tipo de solo, o qual também possui influência no desenvolvimento da cultura. Caso o solo possua características de alta absorção, haverá muita infiltração de água neste solo, podendo chegar a camadas profundas, ocorrendo uma perda de água por meio de percolação, uma vez que a partir de uma certa profundidade de água no solo, esta não será mais de utilidade para a planta pois não estará mais ao alcance das raízes (Salassier, 2006).

Relacionado também com a irrigação por inundação, entra o quesito erosão do solo, o qual pode ocorrer uma vez que a vazão de água seja muito alta; sendo assim,

deve-se ter atenção a esse ponto para que haja um bom aproveitamento hídrico, buscando manter uma vazão alta, mas no limite aceitável para que não cause uma erosão do solo (Salassier, 2006). Nota-se, portanto, que este tipo de irrigação, além de utilizar mais água do que a irrigação por aspersão, uma vez que oferece mais do que apenas a água utilizada pela planta, mantendo o terreno encharcado e alagado, é um método que também está mais suscetível às perdas.

2.2.2.2 Estruturação e sistematização

De suma importância para a correta distribuição de água na lavoura de arroz, a estruturação da lavoura consiste em fazer a adequação da mesma de modo a favorecer o processo de irrigação, para que a água seja bem distribuída nos tabuleiros. A delimitação da lavoura em quadros permite um melhor desempenho do sistema de irrigação, uma vez que esta pode ser realizada de forma mais ágil. O processo de irrigação compreende o bombeamento propriamente dito, colocando água em regadeiras, que são canais de distribuição já no nível da plantação e dos canais de distribuição para os quadros de cultivo.

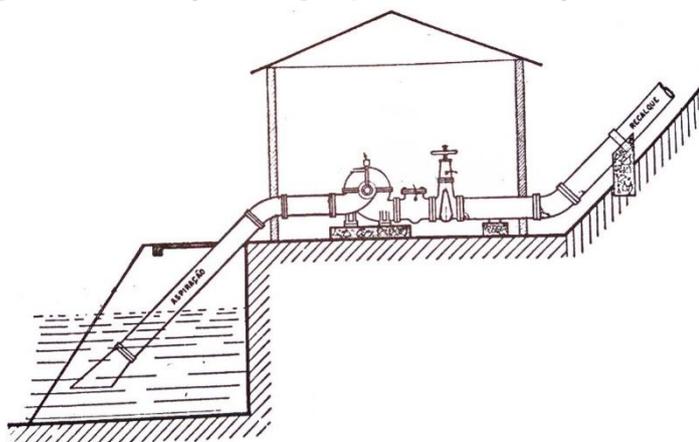
Para a estruturação de uma lavoura a mesma deve possuir um canal principal, que estrategicamente está situado na parte mais alta do terreno, e deriva-se em mais canais, de forma que a água se espalhe por toda a lavoura. Para uma correta estruturação deve-se considerar estradas para o acesso de máquinas agrícolas para semeadura, aplicação de defensivos e adubação, bem como, que a irrigação seja feita uniformemente e que seja possível a drenagem do terreno (Parfitt, 2021).

A sistematização trata-se da adequação da lavoura de forma que facilite os processos de irrigação e de drenagem. Leva-se em conta características como o tipo de declividade da lavoura, onde busca-se uniformizá-la para que a irrigação seja feita de forma mais uniforme e com menor consumo hídrico, obtendo-se maior rendimento, melhor acesso e condições de trabalho para as máquinas agrícolas e, como favorece a drenagem do solo, acaba por favorecer também a rotação de culturas (Parfitt, 2021).

2.3 Tubulações

Indispensáveis para a irrigação, as tubulações são a parte do sistema responsável pela condução da água dos reservatórios para o uso final, o qual se trata da irrigação. Essa condução, representada pela Figura 5, é realizada por meio da força motriz, com o uso de motores e bombas ou por meio da força da gravidade, dependendo do método de irrigação a ser utilizado e das características do terreno.

Figura 5 – Condução da água por meio de adução e recalque.



Fonte: (Macintyre, 2010).

As tubulações são usadas para a etapa de, por assim dizer, sugar a água do reservatório – etapa de adução - e, posteriormente, para conduzir ela até o ponto de uso final – etapa de recalque da água – na irrigação da cultura. Em estas duas etapas, denomina-se as tubulações por tubulações de sucção ou adução e de recalque, respectivamente. Os conjuntos de motores e bombas são os componentes dos sistemas de irrigação responsáveis por essa sucção e recalque da água utilizados nos cultivos agrícolas em que não é possível o uso somente da gravidade para tal.

Os diâmetros das tubulações não necessariamente precisam ser contínuos por todo o sistema; muitas das vezes o diâmetro varia na tubulação de sucção nos pontos do começo da bomba e no começo da curva, bem como, para a tubulação de recalque, pode haver variação nos diâmetros da bomba e da curva. Costuma-se ter diâmetros da linha de recalque iguais ao diâmetro da linha principal e, para a linha de sucção costuma-se ter um diâmetro maior do que o do recalque (Salassier, 2006).

Para as tubulações, tanto de sucção quanto de recalque ou distribuição, os materiais podem ser diversos. Dentre eles cabe citar aço soldado comum, cimento amianto, cobre, concreto, ferro ou até plástico do tipo PVC; onde cada um destes

materiais possui características diferentes, que devem ser escolhidas de acordo com o projeto de irrigação e as condições climáticas e da água às quais estes serão submetidos.

Independentemente do tipo de irrigação a ser utilizado para o cultivo, haverá a presença de tubulações para o transporte da água e sua distribuição na lavoura. Sendo assim, há algumas características que devem ser consideradas em relação às tubulações, as quais são apresentadas em 2.3.1.

2.3.1 Fatores de interferência nas tubulações

As tubulações, sendo elas de sucção, de recalque e de distribuição de água possuem características que podem acabar por interferir nas características finais do processo de irrigação. Sendo assim, são uma parte importante e para a qual se deve dar a devida atenção em um sistema de irrigação.

Nos sistemas de irrigação por inundação o terreno tende a ser mais plano, enquanto que os sistemas por aspersão podem ser implementados em terrenos com irregularidades, declives e aclives. As características do terreno também acabam por interferir nas tubulações utilizadas para o recalque de água, uma vez que estas são dispostas sobre o terreno, acompanhando o seu relevo; ou seja, as tubulações contarão com um grau de inclinação, uma altura geométrica e manométrica, haverá a presença de curvas e cotovelos nas tubulações, uma vez que estas precisam se adaptar às irregularidades do terreno sobre o qual estarão dispostas.

As curvas, cotovelos, reduções ou válvulas acabam por gerar uma certa resistência à passagem da água pelas tubulações; a presença de tais componentes, quando utilizados em excesso, acaba por interferir na pressão e vazão da água. Por exemplo nos sistemas de irrigação por aspersão, a falta de pressão e vazão acaba por causar um mau funcionamento do sistema, não entregando a água para as plantas na quantidade correta, baixando a qualidade do alcance e intensidade de vazão da água nos aspersores. Já para o caso de irrigação por inundação, uma menor vazão implica em um maior tempo com o sistema de bombeamento em funcionamento, bem como, o sistema não estará operando com a máxima vazão admissível (Salassier, 2006).

Outro fator a se levar em conta é o comprimento total da tubulação, abrangendo a distância entre o local de armazenamento de água e a bomba e a distância, a partir

disso, até o uso final da água no sistema de irrigação. Sendo assim, deve-se considerar os comprimentos das tubulações de sucção, recalque e distribuição da água, os quais, se muito longos, implicam em um mau funcionamento do sistema, uma vez que causam resistência à passagem de água e perdas.

O diâmetro das tubulações também causa interferências no sistema, por exemplo, se na tubulação de sucção houver um diâmetro muito pequeno, a bomba não conseguirá realizar a sucção de água suficiente para suprir as necessidades do sistema. Tal fator implicará em interferências na vazão do sistema, limitando-a a quantidades menores.

Deve-se também considerar o tipo de material do qual as tubulações são compostas, uma vez que cada material possui uma característica e, associado a estas, tem-se o desgaste do material com o tempo de uso. Com o passar do tempo, o material tende a se desgastar em razão do seu uso, uma vez que a passagem da água causa uma espécie de erosão na tubulação, este desgaste tende a aumentar de acordo com a passagem do tempo.

O coeficiente de rugosidade, representado no Quadro 1, é o parâmetro que varia de acordo com o tempo de uso e o material do qual as tubulações são compostas. Outros fatores que causam influência no desgaste destas tubulações é estarem ao ar livre, sob chuvas, ventos, incidência solar e a acidez da água utilizada na irrigação, uma vez que o desgaste das tubulações e demais partes integrantes do sistema ocorrerá de forma mais acelerada se a água a ser utilizada estiver com nível de acidez mais elevado (Salassier, 2006).

Quadro 1 – Coeficiente de rugosidade dos materiais.

Material da tubulação	C (coeficiente de rugosidade)		
	Novos	10 anos	20 anos
Aço soldado comum	110	100	90
Cimento amianto	140	130	120
Cobre	140	135	120
Concreto (bom acabamento)	130	130	130
Concreto (acabamento comum)	130	120	110
Aço rebitado	110	90	80
Ferro fundido (revestimento epóxico)	140	130	120
Plástico PVC	140	135	130

Fonte: autor.

Uma diferença na rugosidade das tubulações, sendo que esta aumenta com o passar do tempo, decorre de fatores como o tipo de material do qual as tubulações são compostas e das propriedades dos fluidos que escoam pelas mesmas. Se a água utilizada na irrigação tiver materiais em suspensão, os mesmos poderão se incrustar

nas paredes das tubulações afetando sua rugosidade com o passar do tempo; o mesmo acontece para os materiais e sais que estiverem dissolvidos na água. Na prática a rugosidade não será uniforme em toda a tubulação, então adota-se um valor médio que seja equivalente, o qual é o coeficiente de rugosidade, valor tabelado para os diferentes tipos de materiais e tempo de uso das tubulações do sistema (Macintyre, 2010).

A altura manométrica e geométrica, bem como a inclinação das tubulações também interferem no funcionamento do sistema; estas características também estão associadas ao uso e funcionamento das bombas do sistema. Mais características sobre os conjuntos de motores e bombas, bem como sua interferência e contribuição para os sistemas de irrigação estão descritos em 2.4.

2.4 Conjunto de motores e bombas em sistemas de irrigação

Em sistemas de irrigação nos quais não é possível realizar o transporte e distribuição de água pela força da gravidade, é indispensável o uso de força motriz para realizar o transporte da água. Esta força motriz é gerada por conjuntos de motores e bombas, os quais são responsáveis pela adução, recalque e distribuição da água por meio das tubulações para o seu uso final na irrigação.

2.4.1 Bombas em sistemas de irrigação

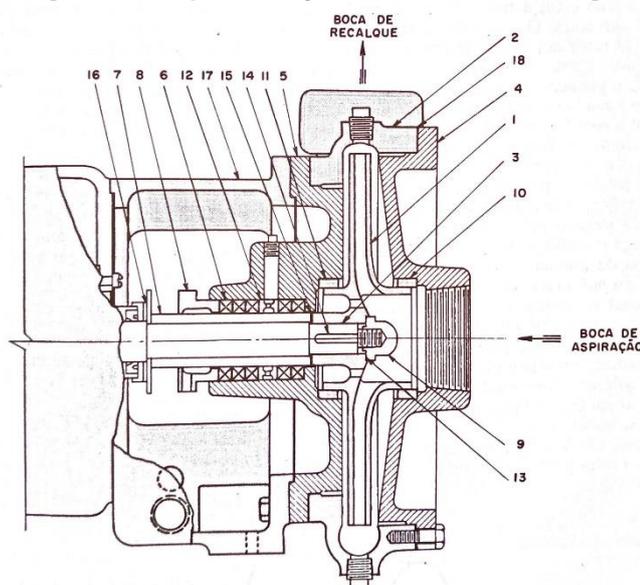
Responsáveis pelo bombeamento de água em sistemas de irrigação, as bombas são movidas por força motriz que provém de motores para o acionamento das mesmas. Operando pelo princípio de conservação da massa onde a massa de fluido que entra no tubo de corrente é igual a massa de fluido que sai do mesmo (Souza, 2011). A bomba é o componente do sistema de irrigação que atua como uma máquina de fluxo, realizando um trabalho mecânico para o transporte de um fluido conduzindo-o por meio da adução e o encaminhando para o recalque, cedendo energia ao líquido de forma a escoá-lo com aumento de pressão ou velocidade (Macintyre, 2010).

Equipamentos de bombeamento podem ser de diversos tipos, dentre os quais cabe citar bombas rotativas, bomba centrífuga, bomba helicoidal e a bomba axial ou

propulsora; onde seu uso e aplicação dependem das características do sistema e objetivo final. As bombas rotativas são usadas quando se deseja pressões elevadas e descargas relativamente pequenas; as bombas centrífugas são utilizadas quando se tem alturas pequenas a elevadas no sistema; as bombas helicoidais são utilizadas quando se deseja grandes descargas e alturas pequenas a médias de elevação; já a bomba axial ou propulsora é empregada em casos onde se busca grandes descargas e grandes elevações, de até mais de 40 metros (Macintyre, 2010).

Dado o exposto, tem-se em sistemas de irrigação um grande emprego de bombas centrífugas, representadas pela Figura 6, uma vez que haja compatibilidade. Esse tipo de bomba é adaptável aos sistemas de irrigação, possuindo escoamento com planos que são perpendiculares em relação ao eixo; sucção simples tendo entrada unilateral do fluido, ou sucção dupla com entrada bilateral e rotor em estágio simples ou de vários estágios (Santos et al., 2001).

Figura 6 – Representação de bomba centrífuga.



Fonte: Macintyre, 2010.

Podendo ser o sistema de suporte da bomba de forma fixa ou em balsa, sua alimentação por meio de canal, rio ou represa; há a possibilidade de posicionamento de mais de uma bomba, podendo a disposição das mesmas ser feita em série ou paralelo, de acordo com a necessidade do sistema e objetivo final esperado. Este posicionamento costuma ser assim feito em razão de que, muitas das vezes, o custo de duas bombas pequenas acaba por ser menor do que o custo de uma bomba grande. Nos sistemas de irrigação por inundação costuma-se posicionar as bombas

em paralelo, enquanto que nos sistemas de aspersão a pivôs as bombas tendem a ser posicionadas em série.

O posicionamento das bombas também pode ser realizado em relação ao nível do fluido e, dependendo do tipo de bomba utilizada, este posicionamento pode ser feito com a bomba acima do nível do reservatório ou com a bomba afogada. No primeiro caso deve-se levar em consideração que quando a bomba é desligada pode haver o retorno da água para o reservatório, neste caso cabe então o uso de uma válvula de retenção. Já no caso em que a bomba está afogada não é necessária tal válvula, desde que a bomba esteja afogada de forma que fique cheio de água em todo o seu corpo.

Caso haja o retorno da água da bomba para o reservatório haverá presença de ar na tubulação de sucção e, neste caso, poderá ocorrer a falta de sucção do fluido, uma vez que há uma certa dificuldade para que este ar presente nas tubulações seja eliminado e isto precisa ser feito para que a bomba comece a sucção do fluido. No caso da bomba afogada, caso a mesma não esteja instalada de forma correta, pode ocorrer o problema de cavitação; para evitá-lo é importante ter um grande volume de água na sucção e para isso cabe aumentar o diâmetro desta tubulação de sucção.

Relacionada também com o posicionamento da bomba tem-se a altura de sucção, a qual se trata da altura do reservatório no ponto onde ocorre a adução do fluido em relação ao centro da bomba. Partindo do ponto central da bomba até a altura do local para o qual está ocorrendo o deslocamento do fluido, que seria ao final da tubulação de recalque, tem-se a altura conhecida como altura de recalque (Macintyre, 2010).

Ao se somar a altura da sucção com a altura de recalque e as perdas de carga tem-se a altura total de elevação do fluido no sistema, também conhecida como altura manométrica, que está relacionada com a energia que a bomba deve fornecer ao líquido, uma vez que a mesma precisa elevá-lo até tal altura (Macintyre, 2010). Ou seja, para elevá-lo até esta altura manométrica, a bomba precisará ceder uma energia ao fluido. Esta altura total de elevação costuma ser especificada pelo fabricante para que, operando sob as condições específicas, esteja sob rendimento máximo (Santos et al., 2001).

Porém, ao se conduzir o fluido pelas tubulações tanto de adução quanto de recalque, estarão presentes no sistema resistências ao escoamento desse fluido, implicando em perdas no sistema; dentre tais perdas cabe citar perdas hidráulicas e

de carga. O fluido, entretanto, escoar pelo sistema e para vencer tal resistência ele acaba por ceder uma energia para realizar tal escoamento, e esta energia é a perda de carga. Caso o sistema esteja atuando a velocidades mais baixas de escoamento, as perdas de carga não serão tão elevadas, nem na adução e nem no recalque, uma vez que uma menor velocidade causará um menor atrito com as paredes da tubulação, implicando em uma menor resistência ao escoamento e, conseqüentemente, uma menor perda (Macintyre, 2010).

Um fator a se levar em consideração nos sistemas de irrigação que acaba por interferir nas bombas é a viscosidade do fluido a ser bombeado pelas mesmas, uma vez que o aumento da viscosidade implica em um maior peso específico do fluido e, sendo assim, maior será a variação de pressão com relação à saída e entrada do rotor. Haverá um maior consumo de potência quanto maior for a viscosidade do fluido; se mantida a velocidade da bomba ao ser bombeado um fluido mais viscoso, este fluido acaba por atingir uma menor altura manométrica e, em razão das perdas internas, é necessária maior potência motriz (Macintyre, 2010).

Outro ponto a se considerar sobre a viscosidade do fluido é o tamanho da bomba empregada para bombeá-lo, uma vez que nas bombas menores haverá uma maior influência da viscosidade do fluido, em relação à sua interferência em bombas maiores por questão das características construtivas das mesmas. O quesito da viscosidade do fluido também deve ser considerado e deve-se ter uma certa atenção quando empregados os sistemas de bombas em série ou paralelo, uma vez que estas combinações tendem a ser feitas com equipamentos de bombeamento menores.

Nos sistemas de irrigação a pivô o principal objetivo é o recalque de água com pressão para o bom funcionamento do sistema. Sendo assim, quando necessita-se variar características do sistema costuma-se empregar as bombas centrífugas em série, uma vez que desta forma aumenta-se a pressão no recalque do fluido. Para o caso de sistema de irrigação por aspersão, se o fluido utilizado para a irrigação for mais viscoso, tem-se a vantagem de uma maior pressão causar uma diminuição da viscosidade da água (Macintyre, 2010).

Já nos sistemas de irrigação por inundação deseja-se vazão de água, não sendo necessária pressão até para evitar erosão do solo na saída do fluido ao final do recalque, como no caso da irrigação a aspersão. Então, quando se deseja variar características do sistema costuma-se empregar associação de bombas centrífugas em paralelo, uma vez que esta forma de associação permite a variação da vazão,

sendo esta variação muito utilizada principalmente nas lavouras de arroz, uma vez que na etapa inicial é necessário vazão máxima até se chegar no ponto de inundação e, posteriormente, a vazão deve ser suficiente apenas para manter a área inundada, suprimindo a evaporação e absorção das plantas e do solo. Para que haja a variação da vazão pode-se incluir ou retirar de funcionamento uma das bombas, atendendo as necessidades do sistema de acordo com a quantidade de vazão requerida pelo mesmo.

2.4.2 Motores em sistemas de irrigação

Com a função de fornecer força motriz para o funcionamento das bombas, os motores são parte essencial nos sistemas de irrigação. O consumo de energia da bomba provém da potência motriz fornecido pelo motor, sendo assim, o mesmo deve ser dimensionado para estar condizente com a potência das cargas e conseguir suprir as necessidades das bombas a serem acionadas sem que o sistema fique subdimensionado (Nogueira, 2004).

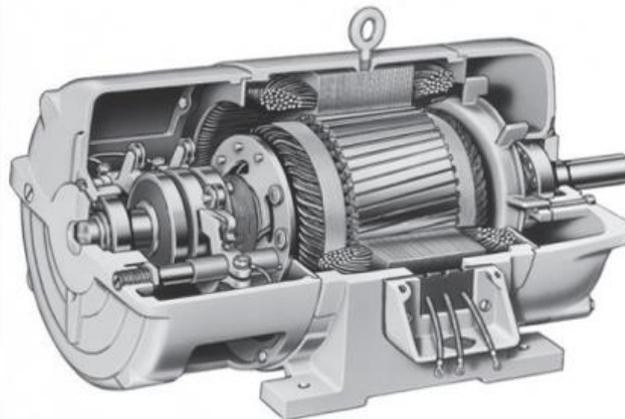
Considerando os motores do mercado, comumente utiliza-se em sistemas de irrigação motores de corrente alternada, podendo eles serem síncronos – os quais são raramente utilizados em razão de seu custo – ou assíncronos. Os motores assíncronos são assim denominados em razão de ocorrer um deslizamento da rotação do motor em relação à rotação síncrona, onde a velocidade do rotor deve ser diferente da velocidade de campo (Macintyre, 2010). Já nos motores síncronos este deslizamento não ocorre.

Caso o motor assíncrono estiver em operação sem carga, o deslizamento será pequeno; já com carga acaba por ser maior o atraso do rotor em relação ao campo girante, tendo um maior deslizamento (Macintyre, 2010). Ou seja, a velocidade do motor operando a plena carga abaixa, em relação à sua operação sem cargas.

Os motores assíncronos, representados na Figura 7, possuem seu princípio de operação onde a variação de corrente do estator acaba por produzir um movimento relativo no rotor do mesmo, induzindo forças eletromagnéticas que acabam por originar a corrente que circula no rotor; outro fator para a escolha dos motores de indução com o rotor bobinado para uso com bombas centrífugas é a possibilidade de variação de velocidade (Macintyre, 2010). Em razão da indução de forças

eletromagnéticas que dão origem à corrente, o motor assíncrono é também conhecido como motor de indução.

Figura 7 – Motor de indução de rotor bobinado



Fonte: Chapman, 2013.

Ao fornecer potência motriz à bomba, o motor tem por função acelerá-la até o ponto em que atinja a velocidade de regime, também conhecida como velocidade normal. Sendo assim, o motor precisará ter um conjugado ou torque maior do que o conjugado resistente oferecido pela bomba e, sob tais condições, a corrente de partida do motor é maior que a corrente nominal de operação do mesmo à plena carga, ou seja, na partida o motor terá uma corrente maior que a corrente nominal a plena carga e esta corrente de partida decresce à medida que o motor acelera para atingir a velocidade de regime (Macintyre, 2010).

Desta forma, quando o motor estiver submetido a uma carga menor, com um menor conjugado de resistência, a velocidade de regime será atingida mais fácil e rapidamente. Deve-se ter atenção de que o motor consiga atender ao conjugado da carga conectada e, no caso da bomba, se a partida ocorrer com o registro fechado o conjugado de partida será menor, reduzindo o tempo de alcance da velocidade de regime para o menor possível (Macintyre, 2010).

2.5 Eficiência energética

A eficiência energética trata-se da melhor forma de aproveitamento energético em um sistema, considerando a conservação e utilização da melhor forma da energia disponível, evitando desperdícios. Para implantação da eficiência energética em um sistema, deve-se considerar cada uma das partes constituinte do mesmo e analisá-

las buscando formas de minimizar perdas, aumentar rendimentos e evitar desperdícios.

No quesito eficiência energética tem-se a energia útil, a qual é a energia que um sistema ou equipamento demanda em seu funcionamento e, associado a isso tem-se a potência dos equipamentos. A carga dos equipamentos em um sistema solicita potência elétrica para o seu funcionamento durante um intervalo de tempo em que estiver em operação, esta potência é a demanda do sistema, a qual é subdividida em demanda máxima, que se trata do maior valor medido; a demanda média que é o valor médio das medições de potência do sistema durante um intervalo de tempo e a demanda medida que se trata do maior valor medido durante um período de tempo (Santos et al., 2001).

Para que haja energia disponível para uso deve-se contratar da concessionária uma certa demanda, que será disponibilizada pela mesma e deverá ser paga pelo seu uso. Ao se contratar uma demanda da concessionária, deve-se ter atenção quanto ao valor contratado e, para isto, cabe a implementação de eficiência energética.

Se a demanda contratada da concessionária for muito maior do que o utilizado pela unidade consumidora, o consumidor deverá pagar por seu fornecimento mesmo que a mesma não tenha sido utilizada; já se o valor contratado for menor do que o utilizado pela unidade consumidora, haverá uma ultrapassagem da demanda contratada, a qual resulta em multas a serem pagas por parte do consumidor (Santos et al., 2001). Sendo assim, deve-se ter atenção para a adequação da demanda de potência, evitando sub ou superdimensionamento; para tal, pode-se realizar medições em intervalos de 15 minutos para verificação e adequação da potência demandada pela unidade consumidora em questão.

Ao se estudar a eficiência energética, as perdas dos sistemas estarão relacionadas, sendo assim, deve-se buscar reduzi-las. Reduzindo as perdas em cada uma das etapas do sistema e buscando-se operá-lo com um maior rendimento será possível ter uma redução da potência instalada. Sendo assim, será possível uma maior eficiência energética do sistema, uma vez que se torna possível a operação de um mesmo sistema que realiza as mesmas funções, porém com uma menor quantidade de consumo de energia elétrica (Santos et al., 2001). E, a partir da nova potência consumida e redução da carga, é cabível uma readequação da demanda, uma vez que os consumos venham a reduzir.

Outro fator importante a se considerar para a eficiência energética de um sistema é o horário de ponta, das 18 às 21 horas, no qual a tarifa de energia elétrica se torna mais cara em razão, principalmente, da capacidade de fornecimento de energia por parte da concessionária (Santos et al., 2001). Sendo assim deve-se evitar, ao máximo possível, funcionamento dos sistemas e consumo de potência em tal período horário, optando pela sua operação em horários fora de ponta, os quais são o restante do dia.

Cabe também citar o horário reservado que, ao contrário do horário de ponta, apresenta uma diminuição no valor da tarifa de energia. Este horário, o qual abrange o intervalo das 21:30 às 6 horas, é destinado aos consumidores no serviço irrigante (ANEEL, 2021).

2.5.1 Eficiência e aproveitamento energético em sistemas de irrigação

Nos sistemas de irrigação haverão perdas em cada uma das partes integrantes do mesmo, sendo as principais nas bombas, tubulações de adução e de recalque e nos motores. A partir disso, deve-se analisar cada uma das partes do sistema, buscando as possíveis formas de perdas a fim de encontrar soluções para minimizar as mesmas. Nas tubulações do sistema de irrigação há perdas relacionadas com o atrito nas tubulações. Tais perdas se dão em razão do material da tubulação e seu estado de conservação. Quanto mais tempo em uso e mais antigas as tubulações, haverá variações no coeficiente de rugosidade – Quadro 1 – das mesmas, implicando em perdas de carga contínuas, dadas pela equação de Hazzen Willians, representada em (4).

$$J = \frac{10,641 * Q^{1,85} * L}{C^{1,85} * D^{4,87}} \quad (4)$$

Onde:

J: perdas de carga em metros por metro de tubulação;

C: coeficiente de rugosidade do material;

L: comprimento da tubulação [m];

Q: vazão [m³/s];

D: diâmetro interno da tubulação [m].

Relacionada com a rugosidade no interior das tubulações tem-se, além do tempo de uso, a qualidade da água, uma vez que a água seja mais ácida e com maior quantidade de sedimentos, implicará em uma degradação mais rápida das tubulações. Os sedimentos presentes na água acabam por se agregar às paredes das tubulações aumentando seu coeficiente de rugosidade, e a acidez da água acaba por desgastar as tubulações ao longo do tempo. A presença de sedimentos na água acaba também por aumentar sua viscosidade e uma maior viscosidade implica em um maior consumo de potência para o bombeamento deste fluido (Macintyre, 2010).

A presença de cotovelos, válvulas e curvas nas tubulações acaba por oferecer resistência à passagem de água, fazendo com que haja uma diminuição do fluxo em função das mesmas. Estas peças especiais acabam por gerar perdas de energia, alteram a velocidade, resultando em perdas locais, em cada uma das peças presentes, devendo ser somada para a resultante das perdas em toda a tubulação (Macintyre, 2010).

Sendo assim, deve-se evitar ao máximo a presença dos mesmos nas tubulações, de forma a manter seu melhor rendimento. Também afetando o fluxo do fluido e causando maior resistência, tem-se o diâmetro das tubulações que, se muito pequeno, acaba por gerar resistências e reduzir o rendimento na parte das tubulações, bem como a presença de alargamentos e estreitamentos.

No caso dos motores, se os mesmos não estiverem corretamente dimensionados, também estarão presentes perdas. Para a partida da bomba, se a válvula de saída da bomba estiver fechada, o consumo de energia para tal partida torna-se menor; portanto, é importante atentar-se a tal ponto pois se a válvula estiver aberta, a energia consumida para a partida do sistema acaba por ser maior, interferindo na eficiência do sistema, uma vez que estará consumindo mais do que o necessário (Santos et al., 2001)

As bombas, por sua vez, possuem característica construtiva que, se operadas no ponto indicado pelo fabricante, apresentarão máximo rendimento. Este ponto de operação é especificado para uma determinada rotação, altura, vazão e menores perdas (Santos et al., 2001). Sendo assim, nota-se a importância da operação do sistema com bombas corretamente dimensionadas e, caso as mesmas operem em condições diferentes das condições de máximo rendimento, tais como uma descarga maior ou menor do que a ideal, haverá um aumento do empuxo, tanto radial quanto axial, e a bomba terá uma elevação de sua temperatura (Macintyre, 2010). Outro fator

relacionado com o aquecimento da bomba é a presença de circulação dentro da bomba, ou escorregamento (RZR, 2023)

Para uma melhor eficiência energética nos sistemas, cabe o correto dimensionamento do mesmo. considerando-se que um mau dimensionamento da demanda do sistema pode causar grandes interferências na eficiência do mesmo, e que a demanda está relacionada com a potência do sistema, é importante ter conhecimento a respeito de tais fatores do sistema. Sendo assim, no conjunto de sistemas de motor e bomba, deve-se considerar a potência do sistema, a qual pode ser obtida por (5).

$$P = \frac{\gamma * Q * H_m}{1000 * \eta_b * \eta_m} \quad (5)$$

Onde:

P : potência do sistema [W];

γ : peso específico da água [N/m³];

H_m : altura manométrica [m];

η_m : rendimento do motor;

η_b : rendimento da bomba.

Considerando-se ainda a potência do sistema, tem-se a potência útil do sistema de irrigação, a qual pode ser obtida por meio de (6). Na conversão de potência útil para o sistema haverá uma potência dissipada, a qual pode ser obtida por meio da equação (7), bem como, a potência hidráulica e o rendimento da bomba, obtidos por (8) e (9) respectivamente.

$$P_u = \gamma * Q * H_g \quad (6)$$

Onde:

P_u : potência útil do sistema [W].

$$P_{du} = \frac{\gamma * Q * H_g * (1 - \eta_b * \eta_m)}{\eta_b * \eta_m} \quad (7)$$

Onde:

P_{du} : potência dissipada na conversão de potência útil [W].

$$P_{hid} = \frac{\gamma * Q * H_m}{1000} \quad (8)$$

Onde:

P_{hid} : potência hidráulica do sistema.

$$\eta_b = \frac{Hm*Q}{367*P_{motor}} \quad (9)$$

Onde:

P_{motor} : potência do motor [kW].

Como nos sistemas de irrigação por inundação, a variação de vazão faz com que não seja possível manter a bomba em funcionamento apenas neste ponto de operação, cabe então buscar que o seu maior tempo de operação seja neste ponto. Nas bombas centrífugas tem-se que a variação de vazão das mesmas não gera grandes decréscimos no rendimento, sendo este mais um motivo para implementação das mesmas em tais sistemas de irrigação (Santos et al., 2001).

Já nos casos de irrigação por aspersão, caso empregada uma bomba de vários estágios que possibilita aumentar a pressão mantendo a mesma vazão, é importante saber que tais bombas apresentam um menor rendimento em relação as bombas de um estágio apenas (Santos et al., 2001). O tamanho das bombas também acaba por influenciar no rendimento, tanto nos sistemas por inundação quanto por aspersão, uma vez que as bombas menores apresentam um menor rendimento, o qual se dá em razão da espessura das palhetas ser maior e também haverá maior influência da viscosidade nas menores bombas (Macintyre, 2010). A viscosidade e presença de sedimentos na água, além de afetar as tubulações e aspersores, afeta também as bombas, uma vez que a presença de objetos sólidos pode ocasionar o travamento da bomba.

Em longos períodos de irrigação, que podem durar até quatro meses, costuma-se ter uma variação na fonte de suprimento de água, como nos casos de barragens e açudes que deplecionam à medida em que são usados. Implicando, assim, em variações nas tubulações de sucção e recalque e alterando o rendimento global do sistema de irrigação. Medidas de eficiência energética, tais como o uso de balsas para aporte do conjunto motor e bomba – método no qual a tubulação permanece afogada uma vez que a balsa acompanha a variação do nível do reservatório – acabam por contribuir no quesito eficiência dos sistemas de irrigação.

A presença de cotovelos, curvas, reduções, válvulas e pequeno diâmetro da tubulação afetam também a bomba. Se tais peças estiverem presentes na tubulação de adução, bem como o posicionamento da bomba ser longe do reservatório de água, implicará em perdas de carga, implicando em resistência à passagem do fluido em

direção à bomba, reduzindo também a pressão com que o fluido será recalcado (RZR, 2023).

Nas bombas pode ainda acontecer o fenômeno de cavitação, que ocorre no interior do sistema onde se alcança a pressão de saturação do líquido, pode ocorrer em situações de elevadas velocidades e baixas pressões, aparecendo geralmente em forma de ruídos e vibrações (Souza, 2011). A cavitação se trata da formação de bolhas, em razão da baixa pressão, que podem acabar danificando as bombas ou tubulações do sistema.

3 METODOLOGIA

Com foco na identificação e análise dos fatores de interferência na eficiência energética dos sistemas de irrigação de superfície por aspersão e por inundação, busca-se a compreensão destes fatores no sistema e seu impacto no rendimento global, na economia de energia, aproveitamento energético e, conseqüentemente, nos custos de energia elétrica. À vista disso, realiza-se um estudo de fatores e características de sistemas de irrigação, de forma a buscar uma maior eficiência nos mesmos.

Baseando-se em uma abordagem de pesquisa teórica, com metodologia baseada em pesquisa bibliográfica e explicativa e análise de um caso prático, tem-se o objetivo de englobar meios para um melhor aproveitamento e eficiência voltados ao setor energético. Desta forma, contribuindo com ações do projeto Exploração Integrada de Recursos Energéticos na Bacia do Rio Santa Maria: Enfoque no Desenvolvimento Econômico, Social e Ambiental Sustentável no Polo da Agricultura Irrigável.

Contando com dados de uma estância, fornecidos pelo produtor rural proprietário da mesma, tem-se os dados de um conjunto de motor e bomba e da instalação de tal conjunto para irrigação. Bem como, tem-se dados da área a ser cultivada de arroz e de milho ou soja na rotação de cultura.

A partir de tais dados, buscar-se-á analisa-los de forma a obter resultados quanto ao dimensionamento do sistema para suprimentos das necessidades de irrigação, quanto à potência necessária para irrigação da área a ser cultivada, à necessidade de instalação de mais conjuntos e o consumo e custos com energia elétrica para a irrigação da respectiva área. Sendo assim, buscar-se-á analisar o sistema para buscar um melhor aproveitamento e eficiência energética.

Analisando-se quantos hectares são cultivados para cada uma das culturas, sua necessidade hídrica e a pluviosidade no período em estudo, tem-se a necessidade hídrica para irrigação da respectiva área de cultivo. A partir disso, analisa-se a produtividade obtida e as características do local do cultivo e os dados de motor e bomba obtendo-se, assim, quantas horas por dia de bombeamento são necessárias para suprir as necessidades hídricas dos cultivos.

O estudo das perdas no sistema de irrigação, a obtenção da altura manométrica e a influência das perdas na mesma, e o rendimento da bomba e do motor permitem

a obtenção das potências do sistema de irrigação. Por meio da potência do sistema chega-se em resultados sobre o consumo de energia elétrica e os custos de operação de tal sistema de irrigação para as culturas do arroz, milho e soja. Aplicando-se medidas de eficiência energética, adequando-se o horário de operação do sistema de irrigação, alcança-se uma economia de energia e de recursos, a qual resulta em uma significativa redução de custos.

4 DESENVOLVIMENTO

Muito presente na região da fronteira oeste, a rotação de cultura, intercalando o cultivo do arroz com o da soja ou milho, traz à tona a necessidade do uso das irrigações pelo método de inundação e pelo método de aspersão, respectivamente, para suprir as necessidades hídricas de cada uma destas culturas. Sendo assim, cabe o correto dimensionamento dos sistemas de irrigação para ambos os casos, de acordo com a necessidade hídrica do cultivo, buscando-se obter o maior rendimento possível no quesito energético e hídrico.

Considerando-se a safra 2022/2023 na região da Fronteira Oeste, período este em que esteve presente o fenômeno climático La Niña, caracterizado por mudanças de temperatura e pluviosidade onde, na região sul do Brasil, ocorrem baixos índices de chuvas e temperaturas mais elevadas, com grande incidência solar. Sendo assim, há uma maior necessidade de suprimento de água por meio da irrigação em razão da baixa pluviosidade e da evapotranspiração.

4.1 Índice pluviométrico

Neste período de cultivo de arroz e da soja ou milho em rotação, o qual abrangeu de setembro de 2022 a abril de 2023, onde o arroz é cultivado de setembro a dezembro e, para a soja ou milho iniciou-se o cultivo em finais de dezembro de 2022 ou início de janeiro à abril de 2023, teve-se o índice pluviométrico apresentado mês a mês no Quadro 2 (IRGA, 2023). Utilizou-se o maior índice pluviométrico para o estudo.

Quadro 2 – Índice pluviométrico safra 2022/ 2023. Fonte: IRGA, 2023.

Mês	Índice pluviométrico [milímetros]
Setembro 2022	75 a 100 mm
Outubro 2022	50 a 75 mm
Novembro 2022	50 a 75 mm
Dezembro 2022	50 a 75 mm
Janeiro 2023	75 a 100 mm
Fevereiro 2023	50 a 75 mm
Março 2023	25 a 50 mm
Abril 2023	75 a 100 mm

Fonte: autor.

4.2 Cultivo do arroz irrigado

Contou-se com uma área de 251.096 hectares semeada de arroz na região, 13.976 hectares de perda e uma produtividade de 8.767 quilogramas por hectare na safra 2022/2023 (IRGA, 2023). O período de irrigação varia de 85 a 100 dias, onde a necessidade hídrica da planta é de 6 a 7 milímetros de água por dia e a evapotranspiração é de 6,7 a 7,7 milímetros de água por dia (GOMES, 2021).

$$Q = 7mm/dia * \frac{1l}{1mm} = 7 l/m^2/dia \quad (10)$$

$$Q = \frac{7l}{dia} * 100dias = 700l/m^2 \quad (11)$$

$$pluv. = 100 + 75 + 75 + 75 = 325mm = 325l/m^2 \quad (12)$$

$$evap. = \frac{6,7mm}{dia} * \frac{1l}{1mm} = \frac{6,7l}{dia} * 100dias = 670l/m^2 \quad (13)$$

$$Q = \frac{700l}{m^2} + \frac{670l}{m^2} - \frac{325l}{m^2} = \frac{1045l}{m^2} = \frac{1045l}{100dias} = \frac{10,45l}{m^2}/dia \quad (14)$$

$$Q = \frac{10,45l}{m^2}/dia = \frac{104500l}{ha}/dia = \frac{104,5m^3}{ha}/dia \quad (15)$$

Dado que tal período de safra possuía condições climáticas mais severas, considerou-se maior necessidade hídrica, de 7 milímetros de água por dia e evapotranspiração de 6,7 milímetros de água por dia. A partir de tais valores, nas equações (10) à (15), obteve-se uma necessidade hídrica de irrigação de 700 litros por metro quadrado e, levando-se em conta também a evapotranspiração e o índice de pluviosidade, obteve-se uma necessidade hídrica de 10,45 litros de água por metro quadrado por dia ou, equivalente a isso, 104,5 metros cúbicos de água por hectare por dia.

4.3 Cultivo da soja irrigada em rotação com o arroz

O cultivo da soja irrigada na safra 2022/2023, em rotação com o cultivo do arroz, contou com uma área de 56,17 mil hectares semeada, da qual 4,21 mil hectares resultaram em perdas, obtendo-se uma produtividade de 1.421 quilogramas por hectare (IRGA, 2023). Considerando-se um período de 90 a 120 dias do ciclo de cultivo da soja (BAYER, 2022) e que na fase em que ocorre a floração e o enchimento dos grãos, período este que dura em torno de 30 a 60 dias, a cultura da soja possui necessidade hídrica de 7 a 8 milímetros de água por dia e, no geral, durante todo o

restante do cultivo da soja, 650 a 700 milímetros de água são necessários (MORA, 2009).

$$Q_{\text{floração}} = 7\text{mm}/\text{dia} * \frac{1\text{l}/\text{m}^2}{1\text{mm}} = 7\text{l}/\text{m}^2/\text{dia} \quad (16)$$

$$Q_{\text{floração}} = 60\text{dias} * \frac{7\text{l}}{\text{dia}} = 420\text{l}/\text{m}^2 \quad (17)$$

$$Q_{\text{cultivo}} = 700\text{mm} * \frac{1\text{l}}{\text{m}^2} = 700\text{l}/\text{m}^2 - 420\text{l}/\text{m}^2 = 280\text{l}/\text{m}^2 \quad (18)$$

$$Q = \frac{280\text{l}/\text{m}^2}{60\text{dias}} = 4,67\text{l}/\text{m}^2/\text{dia} \quad (19)$$

$$\text{evap. meio ciclo} = \frac{6,7\text{mm}}{\text{dia}} * \frac{1\text{l}}{\text{m}^2} = \frac{6,7\text{l}}{\text{dia}} * 60\text{dias} = 402\text{l}/\text{m}^2 \quad (20)$$

$$\text{pluv.} = 100 + 75 + 50 + 100 = 325\text{mm} = 325\text{l}/\text{m}^2 \quad (21)$$

$$\text{pluv. floração} = 50 + 100 = 150\text{mm} = 150\text{l}/\text{m}^2 \quad (22)$$

$$Q_{\text{floração}} = \frac{420\text{l}}{\text{m}^2} + \frac{402\text{l}}{\text{m}^2} - \frac{150\text{l}}{\text{m}^2} = \frac{672\text{l}}{\text{m}^2} = \frac{672\text{l}}{60\text{dias}} = \frac{11,2\text{l}}{\text{m}^2}/\text{dia} \quad (23)$$

$$Q_{\text{floração}} = \frac{11,2\text{l}}{\text{m}^2}/\text{dia} = \frac{112\text{m}^3}{\text{ha}}/\text{dia} \quad (24)$$

$$Q = \frac{280\text{l}}{\text{m}^2} + \frac{402\text{l}}{\text{m}^2} - \frac{(325-150)\text{l}}{\text{m}^2} = \frac{507\text{l}}{\text{m}^2} = \frac{507\text{l}}{60\text{dias}} = \frac{8,45\text{l}}{\text{m}^2}/\text{dia} \quad (25)$$

$$Q: \frac{8,45\text{l}}{\text{m}^2}/\text{dia} = \frac{84,5\text{m}^3}{\text{ha}}/\text{dia} \quad (26)$$

$$Q_{\text{total}}: \frac{672\text{l}}{\text{m}^2} + \frac{507\text{l}}{\text{m}^2} = \frac{1179\text{l}}{\text{m}^2} = 117,9\text{m}^3/\text{ha} \quad (27)$$

Dada a presença e influência do fenômeno climático La Niña, considerou-se uma necessidade hídrica geral maior, de 700 milímetros de água, ou seja, 700 litros por metro quadrado, dos quais 420 litros por metro quadrado – calculados na equação (17) - serão necessários para o período de floração e enchimento dos grãos, com uma necessidade considerada de 7 milímetros ao dia e um período de 60 dias. Para o período restante de cultivo, considerando-se um período de 60 dias restantes – 120 dias de cultivo no total – serão utilizados 280 litros por metro quadrado, calculados por meio de (18).

Com a influência do clima tem-se também a evapotranspiração, a qual foi considerada de 6,7 milímetros ao dia, com um total de 402 litros por metro quadrado, dados pela equação (20). De forma a suprir a evapotranspiração e a necessidade hídrica da planta, considerando-se também a pluviosidade, são necessários 112 metros cúbicos de água por hectare por dia – obtidos em (24) - durante o período de 60 dias que abrangem a floração e enchimento de grãos.

Já nos outros 60 dias iniciais do cultivo são necessários 84,5 metros cúbicos de água por hectare por dia – obtidos em (26) – totalizando, durante todo o cultivo da soja, uma necessidade hídrica de 117,9 metros cúbicos de água por hectare, calculados em (27)

4.4 Cultivo do milho irrigado em rotação com o arroz

Também cultivado na região, mas de presença menos marcante, o milho em rotação com o arroz rendeu, na safra 2022/2023, uma produtividade de 4.421 quilogramas por hectare, tendo a fronteira oeste semeado uma área de 3,37 mil hectares, com perdas em 0,05 mil hectares (IRGA, 2023). Com uma necessidade hídrica de 400 a 700 milímetros de água durante todo o ciclo de cultivo do milho (BITTENCOURT, 2021), o qual leva em torno de 120 a 130 dias para os híbridos precoces (SEMENTES BIOMATRIX, 2021).

$$Q = 600mm * \frac{1l}{1mm} = 600l/m^2 \quad (28)$$

$$Q = \frac{600l/m^2}{130dias} = 4,61l/m^2/dia \quad (29)$$

$$evap. = \frac{6,7mm}{dia} * \frac{1l}{1mm} = \frac{6,7l}{dia} = \frac{6,7l}{dia} * 130dias = \frac{871l}{m^2} \quad (30)$$

$$pluv. = 75 + 50 + 25 + 75 = 225mm = 225l/m^2 \quad (31)$$

$$Q = \frac{600l}{m^2} + \frac{871l}{m^2} - \frac{225l}{m^2} = \frac{1246l}{m^2} = \frac{1246l}{130dias} = \frac{9,58l}{dia} = \frac{95,8m^3}{ha} /dia \quad (32)$$

Considerando-se uma necessidade hídrica de 600 milímetros para o cultivo do milho durante um período de 130 dias, com evapotranspiração de 6,7 milímetros ao dia, obteve-se em (32) uma necessidade hídrica de 95,8 metros cúbicos de água por dia. Para tal, foi considerado o suprimento das necessidades hídricas do milho de 4,61 litros por metro quadrado por dia obtidos em (29), a evapotranspiração calculada em (30) e a pluviosidade obtida em (31).

4.5 Produtividade dos cultivos

Obtidos os resultados de uma necessidade hídrica de 1.045 litros por metro quadrado em (14) para o arroz, dada uma produtividade de 8.767 quilogramas por hectare; para a soja obteve-se em (27) uma necessidade hídrica de 1.179 litros por

metro quadrado, dada uma produtividade de 1.421 quilogramas por hectare. Já para o caso do milho obteve-se em (32) uma necessidade hídrica de 1.246 litros por metro quadrado, dada uma produtividade de 4.421 quilogramas por hectare.

$$Q_{\text{arroz}}: \frac{1045l}{m^2} * \frac{1m^3}{1000l} * \frac{10000m^2}{1ha} = \frac{10450m^3}{ha} \quad (33)$$

$$\text{arroz}: \frac{\frac{8767kg}{ha}}{\frac{10450m^3}{ha}} = 0,839kg/m^3 \quad (34)$$

$$Q_{\text{soja}}: \frac{1179l}{m^2} * \frac{1m^3}{1000l} * \frac{10000m^2}{1ha} = \frac{11790m^3}{ha} \quad (35)$$

$$\text{soja}: \frac{\frac{1421kg}{ha}}{\frac{11790m^3}{ha}} = 0,12kg/m^3 \quad (36)$$

$$Q_{\text{milho}}: \frac{1246l}{m^2} * \frac{1m^3}{1000l} * \frac{10000m^2}{1ha} = \frac{12460m^3}{ha} \quad (37)$$

$$\text{milho}: \frac{\frac{4421kg}{ha}}{\frac{12460m^3}{ha}} = 0,355kg/m^3 \quad (38)$$

Sendo assim, obteve-se através de (34), (36) e (38) uma produtividade de 0,839 quilogramas de arroz por metro cúbico de água; 0,12 quilogramas de soja por metro cúbico de água e 0,355 quilogramas de milho por metro cúbico de água. Para a obtenção de tais resultados foram considerados o índice pluviométrico na época de plantio, a necessidade hídrica do cultivo e a compensação da evapotranspiração.

4.6 Características do local de cultivo

A rotação de cultura consiste em mudar a espécie de cultivo a cada plantio, sendo assim, o milho ou soja são plantados de forma intercalada com o cultivo do arroz. Nesta rotação de cultura, as espécies são cultivadas em um mesmo local, porém em períodos diferentes, ou seja, o terreno, as características geográficas e, em grande parte dos casos, os motores e bombas também continuam sendo os mesmos utilizados na irrigação, mudando apenas o método, onde o arroz é irrigado pela inundação e o milho ou soja por aspersão.

Sendo assim, será considerado um modelo de propriedade, com características comuns aos da região, a qual será denominada Estância A de forma a não expor e manter discrição em relação ao proprietário e localidade. Essa estância conta com um lago ou represa como fonte de água para irrigação, da qual tem-se dados de uma bomba para adução de água, a qual possui uma altura geométrica de sucção de 2 metros. A propriedade tem uma diferença de altura de 14 metros até o ponto mais alto

do terreno, ou seja, altura geométrica de recalque de 14 metros, totalizando uma altura geométrica – H_g – de 16 metros.

Sabe-se que grande parte das propriedades da região conta com instalações com mais de 10 anos de uso, com tubulações feitas do material aço soldado comum, tanto nas tubulações de sucção quanto de recalque. Como grande parte dos sistemas já estão instalados há anos, chegando alguns até a mais de 20 anos de uso, os motores e bombas também já não são novos, os quais costumam ser rebobinados com o passar dos anos. Ao rebobinar-se uma máquina elétrica, a mesma acaba por perder parte de sua eficiência, onde esses reparos podem causar de 3% a 7,5% de perdas no rendimento da máquina a cada rebobinagem (WEG, 2019).

Da propriedade Estância A tem-se os dados de placa de um conjunto de motor e bomba, os quais são datados do ano de 2014, assim como o restante das instalações. Sendo assim, o coeficiente de rugosidade – C – das tubulações é 110, obtido do Quadro 1. Tais tubulações possuem circunferência de 98 centímetros, ou seja, um raio de 15,6 centímetros. Os dados de placa do motor e bomba são apresentados no Quadro 3, Figura 8 e Figura 9, bem como, na Figura 10 tem-se a curva de operação da bomba.

Quadro 3 – Dados de placa motor e bomba

Dados de placa: motor		Dados de placa: bomba	
Modelo:	Weg W22 Plus	Modelo:	ITAP
Potência:	37kW / 50cv	Vazão:	207,49 m ³ /h
Tensão:	220 / 380 / 440 V	Pressão:	43,73 MCA
Rendimento:	93,6%	Rotor \varnothing :	314 mm
RPM:	1770	RPM:	1750

Fonte: autor.

Figura 8 – Dados de placa do motor



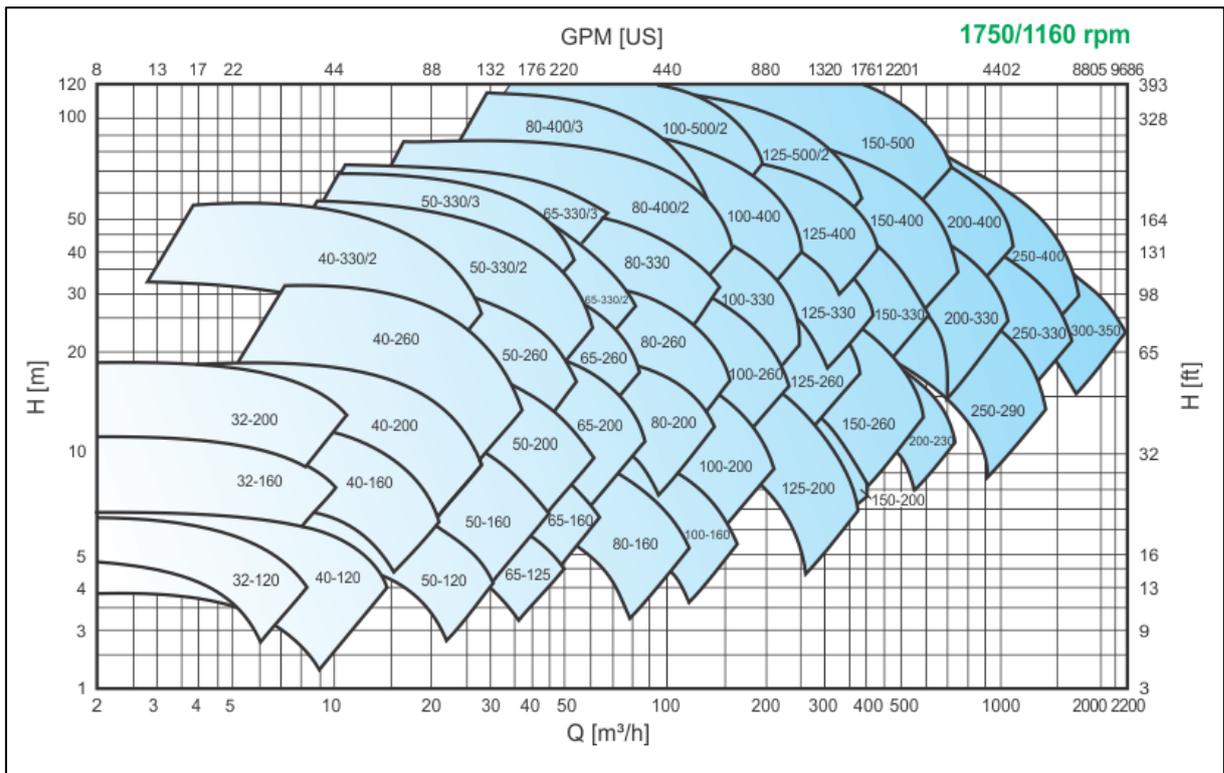
Fonte: autor.

Figura 9 – Dados de placa da bomba.



Fonte: autor.

Figura 10 – Curva de operação da bomba.

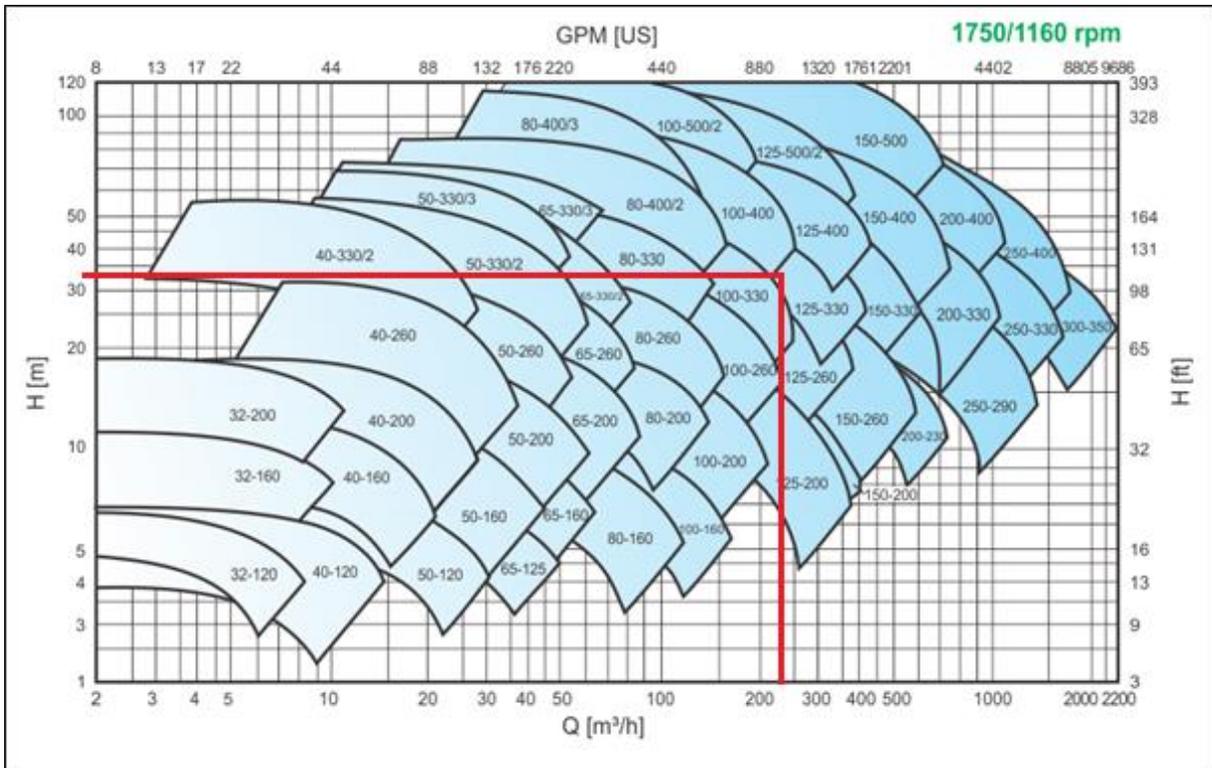


Fonte: (IMBIL, 2023).

Por meio da Figura 10 vê-se que para este modelo de bomba – 125-330 – e para a sua capacidade de vazão de 207,49 metros cúbicos por hora, a bomba possui

capacidade para uma altura em torno de 32 metros. Esta interpretação sobre a curva da bomba está representada na Figura 11.

Figura 11 – Operação da bomba



Fonte: (IMBIL, 2023).

Muitos dos sistemas possuem muitas curvas nas tubulações, até mesmo em locais desnecessários e, em conjunto, vê-se muito que estas curvas possuem um raio curto. Características estas que acabam por causar certa resistência à passagem do fluido por estas tubulações.

Tem-se na Estância A uma propriedade na qual são cultivados 522 hectares de arroz irrigado pelo método de inundação, do qual 478 hectares são irrigados por gravidade, necessitando apenas 44 hectares serem irrigados por meio da utilização de motor e bomba elétricos. Para o cultivo do milho ou soja tem-se 295 hectares, onde utiliza-se o método de irrigação por aspersão a pivôs.

4.7 Irrigação por inundação

Sabe-se que para o método de irrigação por inundação um fator importante a se levar em consideração é a vazão de água. Neste caso, serão analisados os 44 hectares, para os quais é necessária a utilização do conjunto motor e bomba para irrigação.

Para a cultura do arroz, obteve-se em (15) necessidade hídrica de 104,5 metros cúbicos por hectare por dia e que a bomba possui vazão de 207,49 metros cúbicos por hora, representados no Quadro 3 e Figura 9. Sendo assim, necessita-se de bombeamento de água para irrigação por um período de 22,16 horas por dia, resultado este obtido em (39), com uma vazão de 0,057636 metros cúbicos por segundo, obtidos em (40), com a bomba trabalhando sob estado de vazão máxima.

$$t_b = \frac{\frac{104,5m^3}{ha}/dia*44ha}{\frac{207,49m^3}{h}} = 22,16h/dia \quad (39)$$

$$Q = \frac{207,49m^3}{h} * \frac{1h}{3600s} = 0,057636m^3/s \quad (40)$$

Dado que a propriedade possui represa como fonte de água para irrigação e, como há presença de sedimentos como areia e lama, tem-se que esta água possui peso específico γ de 1600 quilogramas força por metro cúbico (MACINTYRE, 2010). Ou seja, peso específico equivalente a 15690,64 Newtons por metro cúbico, calculados em (41).

$$\gamma = \frac{1600kgf}{m^3} * \frac{9,80665N}{1kgf} = 15690,64N/m^3 \quad (41)$$

4.8 Irrigação por aspersão

Para o método de irrigação por aspersão serão analisados os cultivos de milho e soja. Mais informações serão encontradas em 4.8.1 e 4.8.2.

4.8.1 Irrigação por aspersão no cultivo da soja

Considerando-se o conjunto de motor e bomba mencionados anteriormente - Quadro 3 – onde a bomba tem vazão de 207,49 metros cúbicos por hora, um único conjunto não seria suficiente para realizar a irrigação dos 295 hectares cultivados.

Sabe-se que o cultivo de soja possui diferentes necessidades hídricas para seu desenvolvimento, onde no período de floração e enchimento de grão são necessários 112 metros cúbicos por hectare por dia e, no período geral restante de cultivo são necessários 84,5 metros cúbicos por hectare por dia.

Para o período de floração, a bomba, sob vazão de 207,49 metros cúbicos por hora e ligada 24 horas por dia, possui capacidade de suprir no máximo 44,46 hectares, calculados na equação (43), sendo necessários mais de 6 conjuntos – em (44) – de motores e bomba para irrigar toda a área da lavoura. Utilizando-se 7 conjuntos de motor e bomba para a irrigação, cada conjunto supriria 42,143 hectares, obtidos em (45). Então, seria necessário um período de 22,74 horas do dia, calculados em (46), para suprir a necessidade hídrica da soja no período de 60 dias da floração e enchimento do grão.

$$Q = \frac{\frac{112m^3}{ha}/dia}{207,49m^3/h} = \frac{0,53978504h}{dia} /ha \quad (42)$$

$$\frac{\frac{24h}{dia}}{\frac{0,53978504h}{dia}} = 44,46ha \quad (43)$$

$$\frac{295ha}{44,46ha} = 6,63 \quad (44)$$

$$\frac{295ha}{7conjuntos} = 42,143ha \quad (45)$$

$$t = \frac{\frac{112m^3}{ha}/dia * 42,14ha}{207,49m^3/h} = 22,74h/dia \quad (46)$$

Já no período de cultivo geral da soja são necessários 84,5 metros cúbicos de água por hectare por dia, mantendo-se os 7 conjuntos de motores e bombas, cada conjunto é responsável por suprir 42,143 hectares. Sob tais condições, o sistema conseguiria suprir as necessidades de água do cultivo estando ligado por um período de 17,162 horas por dia, obtidos em (47)

$$t = \frac{\frac{84,5m^3}{ha}/dia * 42,143ha}{207,49m^3/h} = 17,162h/dia \quad (47)$$

4.8.2 Irrigação por aspersão no cultivo do milho

Considerando-se o mesmo conjunto de motor e bomba, com vazão de 207,49 metros cúbicos por hora, uma área de 295 hectares e a necessidade hídrica do milho de 95,8 metros cúbicos de água por hectare por dia. Sob tais condições, operando

24h por dia, seriam necessários mais de 5 conjuntos de motores e bombas, calculados em (50), para irrigar a lavoura. Considerando-se, então, 6 conjuntos de motores e bombas, onde cada conjunto supre uma área de 49,166 hectares, obtidos em (51), estes estariam operando em um período de 22,7 horas por dia.

$$Q = \frac{\frac{95,8m^3}{ha}/dia}{207,49m^3/h} = \frac{0,4617h}{dia} /ha \quad (48)$$

$$\frac{24h/dia}{\frac{0,4617h}{dia}/ha} = 51,98ha \quad (49)$$

$$\frac{295ha}{51,98ha} = 5,675 \quad (50)$$

$$\frac{295ha}{6conjuntos} = 49,166ha \quad (51)$$

$$t = \frac{\frac{95,8m^3}{ha}/dia * 49,166ha}{207,49m^3/h} = 22,7h/dia \quad (52)$$

Se já existentes na propriedade e mantidos os 7 conjuntos de sistema motor e bomba, necessários para a irrigação da soja, em razão de um uso anterior, cada um dos conjuntos supriria, sob tais condições, uma área de 42,142 hectares, calculado em (53), operando por um período de 19,457 horas diárias, obtidas em (54).

$$\frac{295ha}{7conjuntos} = 42,142ha \quad (53)$$

$$t = \frac{\frac{95,8m^3}{ha}/dia * 42,142ha}{207,49m^3/h} = 19,457h/dia \quad (54)$$

4.9 Perdas, rendimento e potência

Para o cálculo do diâmetro das tubulações, tanto de sucção quanto de recalque, leva-se em consideração o tempo de uso e a vazão do sistema, para tal, foi considerado o cultivo com maior número de horas de vazão. Obteve-se, por meio de (55) um diâmetro de recalque – D_r – de 303 milímetros, comercialmente existem as tubulações de 300 e 350 milímetros. O diâmetro calculado está condizente com o das tubulações encontradas no local, as quais possuem uma circunferência medida de 98centímetros, equivalentes a um raio de aproximadamente 15,6 centímetros. A tubulação de sucção deve ser maior que a de recalque, então, idealmente, a mesma pode ter um diâmetro – D_s – de 350 milímetros.

$$D_r = 0,58 * \frac{22,7h}{dia}^{0,25} * \sqrt{\frac{207,49m^3}{h} * \frac{1h}{3600s}} = 0,303m = 303mm \quad (55)$$

Sabe-se que ocorrem perdas de carga no sistema, relacionadas com as tubulações, as quais são calculadas pelo método de Hazen-Williams – equação (4) – o qual é empregado para tubulações com diâmetro maior que 50 milímetros. No sistema tem-se conhecimento de uma curva de 90 graus representada na Figura 13, uma válvula de retenção e um cotovelo representados na Figura 14, as quais correspondem a 5,4, 38 e 9,5 metros de comprimento equivalente, respectivamente, obtidos por meio da tabela da Figura 12.

Figura 12 – Tabela de comprimentos equivalentes

Diâmetro nominal D		Cotovelo 90°	Flanco longo	Cotovelo 90°	Flanco médio	Cotovelo 90°	Flanco curto	Cotovelo 45°	Curva 90°	Curva 90°	Curva 90°	Curva 45°	Entrada Normal	Entrada de bomba	Entrada de gaveta aberto	Entrada de globo aberto	Entrada de ângulo aberto	Tê passagem direta	Tê passagem de lado	Tê saída bilateral	Válvula de pé e crivo	Saída da canaliz.	Válvula de retenção tipo leve	Válvula de retenção tipo pesado
(mm)	(pol.)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19				
13	1/2	0,3	0,4	0,5	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,4	0,1	4,9	2,6	0,3	1,0	1,0	3,6	0,4	1,1	1,6				
19	3/4	0,4	0,6	0,7	0,3	0,3	0,4	0,2	0,2	0,5	0,1	6,7	3,6	0,4	1,4	1,4	5,6	0,5	1,6	2,4				
25	1	0,5	0,7	0,8	0,4	0,3	0,5	0,2	0,3	0,7	0,2	8,2	4,6	0,5	1,7	1,7	7,3	0,7	2,1	3,2				
32	1 1/4	0,7	0,9	1,1	0,5	0,4	0,6	0,3	0,4	0,9	0,2	11,3	5,6	0,7	2,3	2,3	10,0	0,9	2,7	4,0				
38	1 1/2	0,9	1,1	1,3	0,6	0,5	0,7	0,3	0,5	1,0	0,3	13,4	6,7	0,9	2,8	2,8	11,6	1,0	3,2	4,8				
50	2	1,1	1,4	1,7	0,8	0,6	0,9	0,4	0,7	1,5	0,4	17,4	8,5	1,1	3,5	3,5	14,0	1,5	4,2	6,4				
63	2 1/2	1,3	1,7	2,0	0,9	0,8	1,0	0,5	0,9	1,9	0,4	21,0	10,0	1,3	4,3	4,3	17,0	1,9	5,2	8,1				
75	3	1,6	2,1	2,5	1,2	1,0	1,3	0,6	1,1	2,2	0,5	26,0	13,0	1,6	5,2	5,2	20,0	2,2	6,3	9,7				
100	4	2,1	2,8	3,4	1,5	1,3	1,6	0,7	1,6	3,2	0,7	34,0	17,0	2,1	6,7	6,7	23,0	3,2	8,4	12,9				
125	5	2,7	3,7	4,2	1,9	1,6	2,1	0,9	2,0	4,0	0,9	43,0	21,0	2,7	8,4	8,4	30,0	4,0	10,4	16,1				
150	6	3,4	4,3	4,9	2,3	1,9	2,5	1,1	2,5	5,0	1,1	51,0	26,0	3,4	10,0	10,0	39,0	5,0	12,5	19,3				
200	8	4,3	5,5	6,4	3,0	2,4	3,3	1,5	3,5	6,0	1,4	67,0	34,0	4,3	13,0	13,0	52,0	6,0	16,0	25,0				
250	10	5,5	6,7	7,9	3,8	3,0	4,1	1,8	4,5	7,5	1,7	85,0	43,0	5,5	16,0	16,0	65,0	7,5	20,0	32,0				
300	12	6,1	7,9	9,5	4,6	3,6	4,8	2,2	5,5	9,0	2,1	102,0	51,0	6,1	19,0	19,0	78,0	9,0	24,0	38,0				
350	14	7,3	9,5	10,5	5,3	4,4	5,4	2,5	6,2	11,0	2,4	120,0	60,0	7,3	22,0	22,0	90,0	11,0	28,0	45,0				

Fonte: (Macintyre, 2010)

Figura 13 – Curva na tubulação de sucção



Fonte: autor.

Figura 14 – Curva na tubulação de recalque



Fonte: autor.

Na tubulação de sucção tem-se uma altura de 2 metros e um comprimento de 1 metro que, somados ao comprimento equivalente obtido por meio da tabela da Figura 12, resultam em um comprimento real de sucção de 8,4 metros. Já na tubulação de recalque tem-se comprimentos equivalentes de 38 e 9,5 metros, obtidos também pela tabela da Figura 12, somados a uma distância de em torno de 300 metros de recalque, obtendo-se um comprimento real de recalque de 347,5 metros. A partir de tais valores, são calculadas as perdas de carga na sucção em (56) e recalque em (57).

$$J_s = \frac{10,641 * \left(\frac{207,49 m^3}{h} * \frac{1h}{3600s} \right)^{1,85} * 8,4m}{110^{1,85} * 0,35m^{4,87}} = 0,0126m \quad (56)$$

$$J_r = \frac{10,641 * \left(\frac{207,49 m^3}{h} * \frac{1h}{3600s} \right)^{1,85} * 347,5m}{110^{1,85} * 0,34,87} = 1,109m \quad (57)$$

Então, considerando-se as perdas de carga e as alturas geométricas de sucção e recalque, obtém-se a altura manométrica do sistema de 17,1216 metros em (58). A partir da obtenção da altura manométrica, é possível calcular outros parâmetros do sistema.

$$H_m = H_g + J_s + J_r = 16 + 0,0126 + 1,109 = 17,1216m \quad (58)$$

$$\eta_s = 3,65 * \frac{1750rpm * \sqrt{\frac{207,49m^3}{h} * \frac{1h}{3600s}}}{17,1216m^{\frac{3}{4}}} = 182,188 rpm \quad (59)$$

$$\eta_b = \frac{Hm*Q}{367*P} = \frac{17,1216m*207,49m^3/h}{367*37kW} = 0,2616 = 26,16\% \quad (60)$$

$$P_{hid} = \frac{\frac{15690,64N}{m^3} * \left(\frac{207,49m^3}{h} * \frac{1h}{3600s}\right) * 17,1216m}{1000} = 12,77kW \quad (61)$$

$$P = \frac{\frac{15690,64N}{m^3} * \left(\frac{207,49m^3}{h} * \frac{1h}{3600s}\right) * 17,1216}{1000 * 0,936 * 0,2616} = 63,236kW \quad (62)$$

$$P_u = \frac{15690,64N}{m^3} * \left(\frac{207,49m^3}{h} * \frac{1h}{3600s}\right) * 16 = 14469,55W = 14,47kW \quad (63)$$

$$P_{du} = \frac{\frac{15690,64N}{m^3} * \left(\frac{207,49m^3}{h} * \frac{1h}{3600s}\right) * 17,1216 * (1 - 0,936 * 0,2616)}{0,936 * 0,2616} = 47,7kW \quad (64)$$

Obeve-se, por meio de cálculos, um rendimento da bomba de apenas 26,16% em (60) e uma velocidade específica de 182,188 rotações por minuto em (59). Para o sistema motor e bomba, tem-se uma potência de 63,236 quilowatts calculados em (62), sendo a potência hídrica calculada em (61) de 12,77 quilowatts. Como potência útil para o equipamento de irrigação obteve-se 14,47 quilowatts em (63) e uma potência dissipada na conversão de potência útil de 47,7 quilowatts por meio de (64).

4.10 Consumo de energia elétrica

Para os cálculos de consumo de energia elétrica na Estância A serão considerados os três cultivos, os quais são o arroz, soja e milho, onde a potência do conjunto motor e bomba será considerada os 63,236 quilowatts obtidos em (62). Analisar-se-á os três casos separadamente, cada um com suas características e tempo de uso diário.

Na Estância A tem-se contratada a tarifa de energia verde – A4 rural com valor de 1,031 real o quilowatt-hora da tarifa do uso do sistema de distribuição – TUSD – na ponta, e 0,083 real o quilowatt-hora da TUSD fora de ponta; tarifa de energia – TE – de 0,420 real o quilowatt-hora na ponta e 0,259 real o quilowatt-hora fora de ponta. Onde a demanda contratada era única, de 60 quilowatt; valores estes obtidos de tarifa de energia da Estância A, representado na Figura 15.

Para cálculo serão considerados os períodos de cultivo de 100 dias para o arroz, 120 dias para a soja e 130 dias para o milho, já considerados em cálculos anteriores. Bem como, para o arroz serão consideradas as 22,16 horas por dia de

irrigação; para a soja 22,74 horas por dia no período de floração e 17,162 horas por dia no geral do cultivo, com 7 conjuntos para a irrigação; e, para o milho, serão consideradas 22,7 horas por dia de irrigação com 6 conjuntos e 19,457 horas por dia de irrigação com 7 conjuntos.

Figura 15 – Tarifa de Energia Estância A

TARIFA ANEEL					
kWh Ponta TE	R\$ 0,42034560	kWh Ponta TUSD	R\$ 1,03155840	Reat.kWh Ponta	R\$ 0,28459000
kWh Ponta TE	R\$ 0,42034560	kWh FPonta TUSD	R\$ 0,08323200	Reat.kWh FPonta	R\$ 0,28459000
kWh Fponta TE	R\$ 0,25983360	kWh FPonta TUSD	R\$ 0,08323200	Reativo kW	R\$ 27,18000000
kWh Fponta TE	R\$ 0,25983360	kW Único	R\$ 26,09280000		
kWh Ponta TUSD	R\$ 1,03155840	kW Único Ultrap	R\$ 54,36000000		

Fonte: autor.

4.10.1 Consumo de energia elétrica no cultivo do arroz

Considerando-se que na Estância A não se estaria tomando o devido cuidado em relação ao horário de ponta, onde o sistema estaria sob operação em tal horário, obteve-se em (65) um custo de 27.526,63 reais para operação em horário de ponta e, em (66), um custo de 41436 reais para operação fora de horário de ponta, totalizando em 68.936,35 reais para irrigação do arroz, obtidos em (67) para um período de 100 dias nos 44 hectares onde é necessária a irrigação com o uso do conjunto motor e bomba.

$$63,236kW * \frac{3h}{dia} = \frac{189,708kWh}{dia} * \frac{R\$(1,031+0,420)}{kWh} * 100dias = R\$ 27526,63 \quad (65)$$

$$63,236kW * \frac{(22,16-3)h}{dia} = \frac{1211,60kWh}{dia} * \frac{R\$(0,083+0,259)}{kWh} * 100dias = R\$ 41436,72 \quad (66)$$

$$R\$27526,63 + R\$41436,72 = R\$ 68.936,35 \quad (67)$$

Agora, considerando-se que na Estância A tem-se um devido cuidado com o horário de operação do sistema, evitando ao máximo a operação do mesmo em horário de ponta. Sob tais condições, obteve-se em (68) um custo de 45.416,09 reais para o sistema sob operação fora de ponta e, em (69), um custo de 10.643,08 reais com operação em horário de ponta, totalizando 56.059,18 reais para irrigação do arroz, obtidos em (70), para um período de 100 dias e irrigação de 44 hectares.

$$63,236kW * \frac{21h}{dia} = \frac{1327,956kWh}{dia} * \frac{R\$(0,083+0,259)}{kWh} * 100dias = R\$ 45416,09 \quad (68)$$

$$63,236kW * \frac{(22,16-21)h}{dia} = \frac{73,35kWh}{dia} * \frac{R\$(1,031+0,420)}{kWh} * 100dias = R\$ 10643,08 \quad (69)$$

$$R\$ 45416,09 + R\$ 10643,08 = R\$ 56.059,18 \quad (70)$$

4.10.2 Consumo de energia elétrica no cultivo da soja

Dado que no cultivo da soja são irrigados 295 hectares e, para tal, são necessários 7 conjuntos de motor e bomba. Novamente, considerando-se duas hipóteses, sendo essas o consumo com atenção ao horário de ponta, evitando-se ao máximo a operação do sistema em tal horário e a operação do sistema em horário de ponta.

$$63,236kW * \frac{3h}{dia} = \frac{189,708kWh}{dia} * \frac{R\$(1,031+0,420)}{kWh} * 60dias = R\$16515,97 \quad (71)$$

$$R\$ 16515,97 * 7conjuntos = R\$ 115611,79 \quad (72)$$

$$63,236kW * \frac{(22,74-3)h}{dia} = \frac{1248,278kWh}{dia} * \frac{R\$(0,083+0,259)}{kWh} * 60dias = R\$ 25614,66 \quad (73)$$

$$R\$ 25614,66 * 7conjuntos = R\$ 179302,62 \quad (74)$$

$$63,236kW * \frac{(17,162-3)h}{dia} = \frac{895,548kWh}{dia} * \frac{R\$(0,083+0,259)}{kWh} * 60dias = R\$18376,64 \quad (75)$$

$$R\$18376,64 * 7conjuntos = R\$128636,48 \quad (76)$$

$$R\$(115611,79 + 179302,62 + 115611,79 + 128636,48) = R\$ 539162,68 \quad (77)$$

Considerando-se que na Estância A não se está tomando o devido cuidado com relação ao horário de ponta, onde o sistema opera durante esse período, obteve-se em (72) um custo de 115.611,79 reais para operar os 7 conjuntos em horário de ponta durante 60 dias. Na época de floração e enchimento de grão, onde necessita-se de 22,74 horas por dia de irrigação, obteve-se em (74) um custo de 179.302,62 reais, sem considerar o horário de ponta.

Já no cultivo geral da soja, onde são necessárias 17,162 horas de irrigação por dia, obteve-se em (76) um custo de 128.636,48 reais para operar os 7 conjuntos, sem considerar o horário de ponta. Sendo assim, com o sistema operando em horário de ponta, obteve-se em (77) um custo de 539.162,68 reais para operar os 7 sistemas durante todo o período de 120 dias de cultivo da soja, em 295 hectares.

$$63,236kW * \frac{(22,74-21)h}{dia} = \frac{110,03kWh}{dia} * \frac{R\$(1,031+0,420)}{kWh} * 60dias = R\$ 9579,21 \quad (78)$$

$$R\$9579,21 * 7conjuntos = R\$ 67054,47 \quad (79)$$

$$63,236kW * \frac{21h}{dia} = \frac{1327,95kWh}{dia} * \frac{R\$(0,083+0,259)}{kWh} * 60dias = R\$ 27249,53 \quad (80)$$

$$R\$27249,53 * 7conjuntos = R\$ 190746,71 \quad (81)$$

$$63,236kW * \frac{17,162h}{dia} = \frac{1085,25kWh}{dia} * \frac{R\$(0,083+0,259)}{kWh} * 60dias = R\$22269,33 \quad (82)$$

$$R\$22269,33 * 7conjuntos = R\$ 155885,31 \quad (83)$$

$$R\$(67054,47 + 190746,71 + 155855,31) = R\$ 413656,49 \quad (84)$$

Agora, considerando-se que na Estância A tem-se o devido cuidado de evitar ao máximo a operação do sistema em horário de ponta, obteve-se em (79) um custo de 67.054,47 reais para operação em horário de ponta durante o período de floração, onde necessita-se de 22,74 horas diárias de irrigação. Já para a operação fora do horário de ponta neste mesmo período de 60 dias cultivo, obteve-se em (81) um custo de 190.746,71 reais.

No restante do período de cultivo da soja, onde são necessárias apenas 17,162 horas por dia de irrigação, pode-se operar o sistema totalmente fora do horário de ponta, obtendo-se assim, em (83), um custo de 155.855,31 reais para a operação de 7 conjuntos em um período de 60 dias. Tomando-se o cuidado de operar o sistema de forma a evitar ao máximo o horário de ponta, obteve-se um custo de 413.656,49 reais para irrigar uma área de 295 hectares, com 7 sistemas operando, por um período de 120 dias.

4.10.3 Consumo de energia elétrica no cultivo do milho

Para o cultivo do milho serão feitas análises com operação de 7 conjuntos a 19,457 horas por dia de irrigação e com operação de 6 conjuntos a 22,7 horas por dia de irrigação. Considerando-se as duas formas de operação, analisar-se-á os gastos tomando-se o devido cuidado de evitar ao máximo a operação em horário de ponta, bem como, com o sistema operando durante o horário de ponta.

$$63,236kW * \frac{3h}{dia} = \frac{189,708kWh}{dia} * \frac{R\$(1,031+0,420)}{kWh} * 130dias = R\$ 35784,62 \quad (85)$$

$$R\$ 35784,62 * 7conjuntos = R\$ 250492,34 \quad (86)$$

$$R\$ 35784,62 * 6conjuntos = R\$ 214707,72 \quad (87)$$

$$63,236kW * \frac{(19,457-3)h}{dia} = \frac{1040,67kWh}{dia} * \frac{R\$(0,083+0,259)}{kWh} * 130dias = R\$ 46268,18 \quad (88)$$

$$R\$ 46268,18 * 7conjuntos = R\$ 323877,26 \quad (89)$$

$$63,236kW * \frac{(22,7-3)h}{dia} = \frac{1245,749kWh}{dia} * \frac{R\$(0,083+0,259)}{kWh} * 130dias = R\$ 55386,00 \quad (90)$$

$$R\$ 55386,00 * 6conjuntos = R\$ 332316,00 \quad (91)$$

$$R\$(250492,34 + 323877,26) = R\$ 547369,60 \quad (92)$$

$$R\$(214707,72 + 332316,00) = R\$ 547023,72 \quad (93)$$

Obteve-se, no caso de a Estância A operar os sistemas em horário de ponta, um custo de 250.492,34 reais, em (86), para operar 7 sistemas somente no horário de ponta. No caso de serem apenas 6 sistemas os custos seriam de 214.707,72 reais para operar no horário de ponta, dado um período de tempo de 130 dias.

Considerando-se a operação sem tomar o devido cuidado em relação ao horário de ponta, seriam gastos 547.369,60 reais para operar 7 conjuntos durante um período de 130 dias, para uma área de 295 hectares. Já para o caso de ter-se 6 conjuntos em operação, sem tomar o devido cuidado de evitar o horário de ponta, os custos seriam de 547.023,72 reais durante um período de 130 dias, para a mesma área de 295 hectares. Nota-se uma diferença de 345,88 reais em relação à operação com 6 ou 7 conjuntos, sendo que a operação com 6 conjuntos acaba por ter menor custo; porém, considerando-se um sistema com 7 conjuntos já instalado em razão de um cultivo de soja anterior, a diferença de custo não compensaria toda a realocação e readequação do sistema.

$$63,236kW * \frac{19,457h}{dia} = \frac{1230,38kWh}{dia} * \frac{R\$(0,083+0,259)}{kWh} * 130dias = R\$ 54702,69 \quad (94)$$

$$R\$ 54702,69 * 7conjuntos = R\$ 382918,83 \quad (95)$$

$$63,236kW * \frac{(22,7-21)h}{dia} = \frac{107,50kWh}{dia} * \frac{R\$(1,031+0,420)}{kWh} * 130dias = R\$ 20277,72 \quad (96)$$

$$R\$ 20277,72 * 6conjuntos = R\$ 121666,32 \quad (97)$$

$$63,236kW * \frac{21h}{dia} = \frac{1327,95kWh}{dia} * \frac{R\$(0,083+0,259)}{kWh} * 130dias = R\$ 59040,65 \quad (98)$$

$$R\$ 59040,65 * 6conjuntos = R\$ 354234,9 \quad (99)$$

$$R\$(121666,32 + 354234,9) = R\$ 475901,22 \quad (100)$$

Na análise dos gastos, considerando-se que a Estância A estaria atenta ao horário de ponta, evitando ao máximo operar o sistema neste período, obteve-se que o sistema com 7 conjuntos poderia operar totalmente fora de ponta, uma vez que opera 19,457 horas por dia, gerando um custo de 382.918,83 reais, obtidos em (95). A operação do sistema com 6 conjuntos, por outro lado, acaba por atuar no horário de ponta pois opera por um período de 22,7 horas por dia; sendo assim, obteve-se um custo de 121.666,32 reais para operação de 6 conjuntos no período de horário de ponta.

Em (100) obteve-se um custo total de 475.901,22 reais para operação do sistema com 6 conjuntos de motor e bomba. Fazendo-se um comparativo entre o

sistema em operação com 7 ou 6 conjuntos de motores e bombas, tem-se uma diferença significativa de 92.982,39 reais, onde a operação com 7 conjuntos gera um menor custo, o que acaba também por ser uma vantagem uma vez que o sistema já esteja instalado na propriedade.

4.11 Eficiência energética no sistema de irrigação

Analisando-se os resultados obtidos em 4.10 nota-se que a operação dos sistemas onde evita-se ao máximo operá-los em horário de ponta gera uma diferença significativa nos custos de produção. Para o cultivo do arroz em uma área de 44 hectares e um período de 22,16 horas por dia de irrigação, obteve-se 68.936,35 reais de custos operando-se o sistema durante horário de ponta e um custo de 56.059,18 reais ao evitar a operação do sistema em horário de ponta, gerando uma economia de 12.877,17 reais apenas tomando o devido cuidado de evitar ao máximo operar o sistema em horário de ponta. Mesmo que não tenha sido possível operar o sistema da irrigação do arroz totalmente fora do horário de ponta, tendo-se um devido cuidado já foi possível gerar uma diferença significativa

Para o cultivo da soja em uma área de 295 hectares, obteve-se um custo de 539.162,68 reais operando-se o sistema em horário de ponta. Tomando-se o devido cuidado de evitar ao máximo o horário de ponta para operação do sistema obteve-se um custo de 413.656,49 reais, gerando uma diferença de 125.506,19. Mesmo que no período de floração e enchimento do grão não seja possível operar o sistema totalmente fora do horário de ponta, uma vez que são necessárias 22,7 horas por dia de irrigação, tendo-se o devido cuidado de evitar o horário de ponta já se obtém uma certa economia. Juntando-se ao fato de que fora do período de floração o soja necessite apenas 17,162 horas por dia de irrigação, que pode ser realizada totalmente fora do horário de ponta, obtém-se uma diferença bastante significativa nos custos.

No cultivo do milho observou-se maior vantagem em manter o sistema com 7 conjuntos operando, tanto em razão de não ser necessário reajustar o sistema, uma vez que este já esteja instalado, quanto por ter menores custos no geral. Obteve-se para a irrigação do milho com o sistema operando em horário de ponta um custo de 547.369,60 reais, enquanto que, evitando o horário de ponta obteve-se um custo de 382.918,83 reais, gerando uma diferença de 164.450,77 reais. Essa diferença tão

significativa se dá em razão de que o sistema operando com 7 conjuntos pode operar totalmente fora do horário de pico, uma vez que são necessárias apenas 19,457 horas por dia de irrigação.

Outros fatores que causam grande impacto no quesito eficiência energética do sistema são as curvas, válvulas, entre outros acessórios, representados na tabela da Figura 12 por seu comprimento equivalente L de tubulação, diretamente relacionado com as perdas de carga contínuas J . Outro fator que está relacionado com as perdas de carga é o coeficiente de rugosidade C das tubulações, representado no Quadro 1, inversamente relacionado com J , que diminui à medida que aumenta o tempo de uso das tubulações.

As perdas de carga, por sua vez, estão diretamente relacionadas com a altura manométrica H_m do sistema. Ou seja, quanto maior o comprimento equivalente e mais antigas as tubulações, maiores serão as perdas e maior a altura manométrica do sistema.

A altura manométrica está diretamente relacionada com a potência P do sistema, a potência hidráulica P_{hid} e o rendimento da bomba. Cabe também citar que o rebobinamento de máquinas também afeta a eficiência do sistema, uma vez que afeta o rendimento da máquina, diminuindo-o. Visto que o rendimento é inversamente proporcional à potência do sistema, ao diminuir o rendimento tem-se um aumento na potência. Se a potência do sistema aumentar, haverá maior demanda e consumo de energia elétrica, implicando em maiores custos e menor aproveitamento energético, afetado o rendimento do sistema como um todo.

Como não havia conhecimento sobre toda a dimensão do sistema de irrigação, como a quantidade de curvas ou acessórios ao longo da tubulação de recalque, considerou-se apenas as conhecidas, próximas ao conjunto motor e bomba e na sucção. Então, para a análise da eficiência do sistema deu-se maior destaque à análise do consumo de energia elétrica, considerando-se o período de ponta e fora de ponta.

4.12 Custos e produtividade do sistema de irrigação

Anteriormente obtidos, tem-se uma produtividade de 0,039 quilogramas de arroz por metro cúbico de água, contando com 8.767 quilogramas produzidos por

hectare, com suprimento hídrico de 10.450 metros cúbicos por hectare. Tem-se também um custo de 56.059,18 reais com energia elétrica para irrigar uma área de 44 hectares. Então, para produzir 1 quilograma de arroz, foram necessários 1,19 metros cúbicos de água e um custo com energia elétrica de 0,1453 reais. Obtidos em (103) e (102) respectivamente.

$$\frac{R\$ 56059,18}{44ha} = 1274,07R\$/ha \quad (101)$$

$$\frac{\frac{1274,07R\$}{ha}}{\frac{8767kg}{ha}} = 0,1453R\$/kg \quad (102)$$

$$\frac{\frac{10450m^3/ha}{8767kg}}{ha} = 1,19m^3/kg \quad (103)$$

Para a soja, tem-se uma produtividade de 0,12 quilogramas por metro cúbico de água, sendo cultivada uma área de 295 hectares, com uma produção de 1.421 quilogramas por hectare e necessidade hídrica de 11.790 metros cúbicos por hectare. O custo com energia elétrica para realizar a irrigação do soja foi de 413.656,49 reais, obtendo-se, em (104), um custo de 1.402,22 reais por hectare. Então, para produzir 1 quilograma de soja, necessita-se de 8,29 metros cúbicos de água, para um custo de irrigação de 0,98 reais, obtidos em (106) e (105), respectivamente.

$$\frac{R\$413656,49}{295ha} = 1402,22R\$/ha \quad (104)$$

$$\frac{\frac{1402,22R\$/ha}{1421kg}}{ha} = 0,98 R\$/kg \quad (105)$$

$$\frac{\frac{11790m^3/ha}{1421kg/ha}}{ha} = 8,29m^3/kg \quad (106)$$

No caso do milho, tem-se uma produtividade de 0,355 quilogramas por metro cúbico de água, o qual foi cultivado em uma área de 295 hectares, alcançando uma produtividade de 4.421 quilogramas por hectare e necessidade hídrica de 12.460 metros cúbicos por hectare. Os custos com energia elétrica pra a irrigação foram de 382.918,83 reais, gerando um custo de 1.298,03 reais por hectare obtido em (107). Para produzir 1 quilograma de milho necessita-se de 2,818 metros cúbicos de água, com um custo de irrigação é de 0,29 reais, obtidos por (109) e (108), respectivamente.

$$\frac{R\$382918,82}{295ha} = 1298,03R\$/ha \quad (107)$$

$$\frac{\frac{1298,03R\$/ha}{4421kg/ha}}{ha} = 0,29R\$/kg \quad (108)$$

$$\frac{\frac{12460m^3/ha}{4421kg/ha}}{ha} = 2,818m^3/kg \quad (109)$$

Se não fosse aplicada a medida de eficiência energética em relação ao horário de ponta, de forma que o sistema operasse em tal período de tempo, os custos com energia elétrica para a produção seriam mais altos, de modo que para produzir 1 quilograma de cada um dos cultivos, haveriam mais gastos com energia elétrica.

$$\text{arroz: } \frac{R\$68936,35}{44ha} = 1566,73R\$/ha \quad (110)$$

$$\text{arroz: } \frac{1566,73R\$/ha}{4421kg/ha} = 0,35R\$/kg \quad (111)$$

$$\text{soja: } \frac{R\$539162,68}{295ha} = 1827,67R\$/ha \quad (112)$$

$$\text{soja: } \frac{1827,67R\$/ha}{1421kg/ha} = 1,28R\$/kg \quad (113)$$

$$\text{milho: } \frac{R\$547369,60}{295ha} = 1855,49R\$/ha \quad (114)$$

$$\text{milho: } \frac{1855,49R\$/ha}{4421kg/ha} = 0,419R\$/kg \quad (115)$$

4.13 Comparativo entre os cultivos de arroz, soja e milho

A partir da análise e cálculos do sistema, pôde-se obter o custo com energia elétrica e a necessidade hídrica para produzir cada um dos cultivos, comparando-se os casos com e sem aplicação de eficiência energética, principalmente voltada à questão do horário de operação do sistema. No Quadro 4 tem-se representado tal comparativo entre o cultivo do arroz, soja e milho em uma mesma propriedade sob rotação de cultura.

Nota-se, no Quadro 4, que a aplicação de eficiência energética, mesmo que só no quesito horário de ponta, já é capaz de gerar diferenças significativas de economia de energia e, conseqüentemente economia monetária no cultivo tanto do arroz, quanto da soja ou do milho. A partir de tais resultados vê-se a importância da aplicação de eficiência energética e seu impacto na economia de recursos e redução de custos.

Para o caso do arroz, conseguiu-se atingir uma redução percentual de 18,679% nos custos de produção com energia elétrica. No cultivo do milho essa redução percentual chegou a 23,278% de economia com energia elétrica e no caso do milho essa redução foi ainda mais alta, chegando a 30,043% de redução de custos com energia elétrica para o caso estudo, considerando-se as características do local de cultivo e fatores climáticos no período analisado.

Quadro 4 – Comparativo entre os cultivos de arroz, soja e milho

Comparativo entre produção de arroz, soja e milho.						
	Arroz		Soja		Milho	
	Sem eficiência energética	Com eficiência energética	Sem eficiência energética	Com eficiência energética	Sem eficiência energética	Com eficiência energética
Tempo de cultivo	100 dias		120 dias		130 dias	
Área irrigada por motor e bomba - ha	44 ha		295 ha		295 ha	
Necessidade hídrica -m ³ /ha	10.450 m ³ /ha		11.790m ³ /ha		12.460m ³ /ha	
Produtividade - kg/ha	8.767 kg/ha		1.421 kg/ha		4.421kg/ha	
Produtividade - kg/m ³	0,039 kg/m ³		0,12 kg/m ³		0,355 kg/m ³	
Necessidade hídrica -m ³ /kg	1,19 m ³ /kg		8,29 m ³ /kg		2,818 m ³ /kg	
Custos com energia elétrica- R\$/ha	R\$/ha 1.566,73	R\$/ha 1.274,07	R\$/ha 1.827,67	R\$/ha 1.402,22	R\$/ha 1.855,49	R\$/ha 1.298,03
Custos com energia elétrica - R\$/kg	R\$/kg 0,35	R\$/kg 0,1453	R\$/kg 1,28	R\$/kg 0,98	R\$/kg 0,419	R\$/kg 0,29
Valor economizado com energia elétrica	R\$/ha 292,66 18,679%		R\$/ha 425,45 23,278%		R\$/ha 557,46 30,043%	

Fonte: autor.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base na análise realizada, identificou-se fatores de interferência na eficiência de um sistema e como isso o afeta, onde o coeficiente de rugosidade, as perdas de carga, válvulas e acessórios afetam diretamente a altura manométrica, potências e rendimento do sistema, afetando diretamente o custo com energia elétrica que acaba por ficar mais elevado.

Ao analisar-se o impacto da eficiência energética relacionada à operação do sistema em horário de ponta pôde-se obter uma relevante redução dos custos de irrigação. Buscando-se operar o sistema no menor tempo possível durante o horário de ponta obteve-se uma diferença de custo com energia elétrica de 12.877,12 reais no cultivo de 44 hectares de arroz, de 125.506,19 reais no cultivo de 295 hectares de soja e de 164.450,77 reais no cultivo de 295 hectares de milho, sendo esse valor economizado em energia elétrica pelo produtor.

A partir da análise e cálculos do sistema, pôde-se obter o custo com energia elétrica e a necessidade hídrica para produzir 1 quilograma de cada um dos cultivos, comparando-se os casos com e sem aplicação de eficiência energética, principalmente voltada à questão do horário de operação do sistema.

Nota-se que a aplicação de eficiência energética, mesmo que só no quesito horário de ponta, já é capaz de gerar diferenças significativas de economia de energia e, conseqüentemente economia monetária no cultivo tanto do arroz, quanto da soja ou do milho. A partir de tais resultados vê-se a importância da aplicação de eficiência energética, obtendo-se um maior aproveitamento do recurso, diminuição de gastos com energia elétrica e, conseqüentemente, mais baixos valores de custos, gerando economia para o produtor e mais lucros.

REFERÊNCIAS

- BAYER. Agro Bayer Brasil: Conteúdos agro: Alvos e culturas: Cultura da soja: **Entenda quando realizar o plantio de soja no Brasil**. Bayer, Agro Bayer Brasil, jul. 2022. Disponível em: <https://www.agro.bayer.com.br/conteudos/quando-plantar-soja>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- BITTENCOURT, Mário. Agro Smart: Artigos: Irrigação: **Manejo de irrigação no milho pode colaborar para aumento da produtividade**. Depositante: Agro Smart, 2021. Disponível em: <https://agrosmart.com.br/blog/manejo-da-irrigacao-no-milho-para-maior-produtividade/>. Acesso em: 13 nov. 2023.
- BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento: Informações agropecuárias: **Portal de Informações Agropecuárias: Arroz**. Brasília, DF: Companhia Nacional de Abastecimento (Conab), 2023. Disponível em: <https://portaldeinformacoes.conab.gov.br/produtos-360.html>. Acesso em: 24 abr. 2023.
- BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE): Painel de indicadores: Estimativa da população: **População Residente Estimada Brasil (2021)**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/indicadores.html>. Acesso em: 03 abr. 2023.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL): Consumidores: Resolução 1000 sobre direitos e deveres: **Resolução Normativa ANEEL nº 1000, de 7 de dezembro de 2021**. Ministério de Minas e Energia, 2021. Disponível em: <https://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren20211000.pdf>. Acesso em: 13 jun. 2023.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética (EPE): Publicações: Balanço Energético Nacional: Relatório Síntese 2022: Relatório Final: **Balanço Energético Nacional 2022 (BEN 2022): ano base 2021**. Ministério de Minas e Energia (MME), Rio de Janeiro: EPE, 2021, p. 132. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 03 abr. 2023.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente e Mudança do clima. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA): Gestão Integrada de Recursos Hídricos: **Usos da Água**. Ministério do Meio ambiente e Mudança do clima, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>. Acesso em: 04 abr. 2023.
- CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. Tradução: Anatólio Laschuk. 5 ed., dados eletrônicos: Porto Alegre: AMGH, 2013.
- GOMES, Algenor da Silva; Petrini, José Alberto; Scivittaro, Walkyria Bueno. **Irrigação e drenagem**. Embrapa: Árvores do conhecimento: Cultivos: Arroz: Produção: Sistema de cultivo: Arroz irrigado na região subtropical: Irrigação e drenagem. Depositante: Embrapa. Depósito: 28 set. 2021. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao->

tecnologica/cultivos/arroz/producao/sistema-de-cultivo/arroz-irrigado-na-regiao-subtropical/irrigacao-e-drenagem. Acesso em: 05 nov. 2023.

IRRIGAT. **Conheça as técnicas de irrigação mais utilizadas no país.** Blog Irrigat: Plataforma Sistemas de Irrigação Irrigat: Irrigação. Cruzeiro do Sul, RS, 2019. Disponível em: <https://irrigat.com.br/tecnicas-de-irrigacao/>. Acesso em: 13 jun. 2023.

IMBIL. **Linha ITAP.** IMBIL Soluções em bombeamento: Produtos: ITAP: Catálogo ITAP. Rev. Ago. 2023. Disponível em: file:///C:/Users/Principal/Downloads/Catalogo_ITAP_Web_PT_REV_01.pdf. Acesso em: 13 nov. 2023.

MACINTYRE, Archibald Joseph. **Bombas e Instalações de Bombeamento.** 2. ed. rev., [Reimpr.]. Rio de Janeiro: LTC, 2010.

MORA, Admir Lopes, *et al.* **Agrometeorologia dos cultivos:** o fator meteorológico na produção agrícola. Organizador: José Eduardo B. A Monteiro. Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Brasília, DF: INMET, 2009. Disponível em: https://www.embrapa.br/documents/1355291/37056285/Bases+climatol%C3%B3gicas_G.R.CUNHA_Livro_Agrometeorologia+dos+cultivos.pdf/13d616f5-cbd1-7261-b157-351eaa31188d?version=1.0. Acesso em: 13 nov. 2023

NOGUEIRA, Fábio José Horta. **Acoplamento Motor Carga:** guia avançado. Rio de Janeiro, 2004.

PARFITT, José Maria Barbat. **Estruturação da lavoura.** Portal Embrapa: Árvores do conhecimento: Arroz: Pré produção: Estruturação e sistematização: Estruturação da lavoura. Depositante: Embrapa Clima Temperado. Depósito: 04 out. 2021. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Brasília, DF. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/estruturacao-e-sistematizacao>. Acesso em: 24 nov. 2023.

PENNACCHI, João Paulo. **Pivô central:** entenda tudo sobre esse sistema de irrigação. Depositante: Blog da Aegro. Depósito: 09 abr. 2021; atual. 25 mai. 2023. Porto Alegre, RS. Disponível em: <https://blog.aegro.com.br/pivo-central/>. Acesso em: 13 jun. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Boletim de Resultados da Lavoura de Arroz – Safra 2021/2022: **Boletim de Resultados da Safra 2021/2022 em Terras Baixas:** Arroz Irrigado e Soja. Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA). Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural, Porto Alegre, RS, 2022. Disponível em: <https://irga.rs.gov.br/boletim-de-resultados>. Acesso em: 25 abr. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. **Boletim de Resultados da Safra 2022/23 em Terras Baixas:** Arroz Irrigado e Soja e Milho em Rotação. Inicial: Serviços e informações: Safras: Boletim de Resultados: Boletim de Resultados da Lavoura de Arroz – Safra 2022/2023. Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA). Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural, Porto Alegre, RS, 2023. Disponível em: <https://admin.irga.rs.gov.br/upload/arquivos/202308/23105302-boletim-de-resultados.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Serviços e informações: Recursos hídricos e saneamento: Painel sobre as bacias: **Painel sobre as Bacias Hidrográficas do Estado**: Bacia do Rio Santa Maria : Páginas gerais. Porto Alegre, RS, 2021. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (Sema). Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/painel-bacias-hidrograficas>. Acesso em: 25 abr. 2023.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. Recursos Hídricos e Saneamento: Dados Gerais das Bacias: **Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria**. Porto Alegre, RS, 2020. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura (Sema). Disponível em: <https://sema.rs.gov.br/u070-bh-santa-maria>. Acesso em: 22 abr. 2023.

RZR BOMBAS POSITIVAS. **Como Resolver os 7 Problemas Mais Comuns em Bombas de Embreagem**. Disponível em: <https://www.rzrbombas.com.br/suporte/como-resolver-os-7-problemas-mais-comuns-em-bombas-de-engrenagem/>. Acesso em: 11 jun. 2023.

SALASSIER, Bernardo; SOARES, Antonio Alvez; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de Irrigação**. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa: Ed. UFV, 2006.

SEMENTES BIOMATRIX. **Como plantar milho**: 5 perguntas e respostas para alta produtividade. Blog sementes biomatrix: Sementes: Como plantar milho: 5 perguntas e respostas para alta produtividade. 11 fev. 2021. Disponível em: <https://sementesbiomatrix.com.br/blog/sementes/como-plantar-milho/>. Acesso em: 14 nov. 2023.

SOUZA, Zulcy de. **Projeto de Máquinas de Fluxo**: Tomo I, Base Teórica e Experimental. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência; Minas Gerais: Acta, 2011.

SANTOS, Afonso Henrique Moreira *et al.* **Conservação de Energia**: Eficiência Energética de Instalações e Equipamentos. Itajubá, MG: FUPAI, 2001.

WEG. **Uso eficiente da energia elétrica**. Weg: Homepage: Soluções: Eficiência Energética: Cartilha de eficiência energética: Uso eficiente da energia elétrica. Ver. 04. Jaraguá do Sul, SC, out. 2019. Disponível em: <https://materiais.motores.weg.net/cartilha>. Acesso em: 17 nov. 2023.