



IMPLEMENTAÇÃO DE UM SISTEMA DE CONTROLE AUTOMÁTICO PARA A IRRIGAÇÃO DE UMA PLANTAÇÃO DE ARROZ

Belone Zorzetto Fraga¹

Rodrigo Cesar Nunes Maciel²

Resumo: A produção de arroz desempenha um papel crucial na economia brasileira, com a região sul do país liderando em termos de produção. No entanto, os métodos de irrigação atuais utilizados na produção de arroz enfrentam desafios significativos em termos de gestão hídrica e energética. Este estudo se concentra na análise do método de inundação por irrigação, que tradicionalmente emprega motobombas para a captação de água. O objetivo deste trabalho foi implementar um sistema de controle automático para o controle de um sistema de irrigação por inundação em uma plantação de arroz, utilizando IoT (internet das coisas) para a coleta dos dados e acionamentos. Visando uma redução no consumo hídrico e elétrico se comparado ao método manual de controle. Utilizando-se um microcontrolador ESP32 com conexão WiFi para a coleta dos dados, foi desenvolvido um modelo automatizado com sensores de nível de água do rio e da cancha de plantio para acionamento de uma motobomba sem intervenção humana, além de coletar dados relevantes, como corrente elétrica e acionamento. Para validar o sistema automatizado, foi construído um modelo manual que coleta os dados de corrente elétrica, permitindo a comparação da eficiência de ambos os métodos. Os resultados demonstraram que o modelo automático foi mais eficiente na captação de água e corrente elétrica. Portanto, se comparado ao sistema manual o sistema automatizado conseguiu uma redução de 10,92% no consumo de energia elétrica e 11,52% no consumo de água. A implementação deste sistema automático mostrou-se mais eficiente e promissora em termos de conservação de recursos hídricos e energéticos, contribuindo para a redução dos gastos do local onde foi realizado o experimento.

Palavras-Chave: Irrigação. Consumo. Hídrico. Elétrico. IoT.

1 INTRODUÇÃO

A produção de arroz desempenha um papel crucial na economia brasileira, sendo responsável por fornecer um alimento essencial para a população. Entre os desafios enfrentados por essa indústria, a gestão eficiente dos recursos elétricos emerge como uma questão crítica. Especialmente no contexto da região sul brasileira, que se destaca como os principais produtores de arroz irrigado do Brasil, compreender e otimizar a utilização da água e energia é de suma importância.

¹ Graduando em Engenharia de Software. Centro Universitário UniSATC. E-mail: belone.fraga@aluno.satc.edu.br

² Professor do Centro Universitário Unisatc. E-mail: rodrigo.maciel@satc.edu.br

Ao contrário de outras produções agrícolas, onde é comum o uso de sistemas de irrigação com aspersores de água ou pivôs, a irrigação de arroz é feita pelo modelo de inundação ou saturação do solo. Isso afeta dois fatores importantes para o meio ambiente, economia e abastecimento: o consumo de eletricidade e o consumo hídrico. No Brasil, por exemplo, o impacto ambiental é tão significativo que empresas de energia investem em programas de eficiência energética e planejam fornecimento de energia nessas áreas rurais. Um exemplo desses programas de acordo com Ministério de Minas e Energia é o Programa de Eficiência Energética (PEE) que é a maior fonte de recursos para iniciativas de Eficiência Energética do país. Regulado e fiscalizado pela ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica) (Brasil, 2024).

A irrigação por inundação, predominantemente utilizada no cultivo de arroz no Brasil, gera impactos significativos no âmbito ambiental e econômico. Esse método requer grandes quantidades de água e eletricidade, contribuindo para o alto consumo desses recursos. Segundo o Atlas Irrigação, publicado pela Agência Nacional das Águas em 2017, a irrigação foi responsável por 46% das retiradas de água (que não voltam aos rios) e 67% do consumo total de água doce do país (Brasil, 2017).

É fundamental destacar a importância da gestão eficiente da água na produção de arroz, dado que as condições climáticas e os recursos hídricos variam consideravelmente em todo o país. A escolha do método de irrigação desempenha um papel crucial na otimização do uso da água e na maximização da produção. Portanto, a pesquisa contínua e a adoção de práticas sustentáveis de irrigação são essenciais para enfrentar os desafios da agricultura de arroz no Brasil.

Diante desse contexto, o objetivo deste trabalho foi implementar um sistema de controle automático para o controle de um sistema de irrigação por inundação em uma plantação de arroz, utilizando IoT (internet das coisas) para a coleta dos dados e acionamentos. Visando uma redução no consumo de hídrico e elétrico se comparado ao método manual de controle.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A irrigação desempenha um papel crucial na agricultura, permitindo a produção de alimentos em áreas com pouca precipitação ou em períodos de seca. A prática da irrigação remonta a milhares de anos e evoluiu significativamente ao longo do tempo,

incorporando tecnologias avançadas que melhoram a eficiência e a sustentabilidade. Será explorado os principais métodos de irrigação utilizados atualmente na cultura do arroz e examinando suas características, vantagens e desafios.

2.1 ATUAIS MÉTODOS DE IRRIGAÇÕES

Os métodos de irrigação atualmente utilizados variam com base na disponibilidade de água, características do solo e necessidades específicas das culturas. Os métodos mais comuns são a irrigação por inundação, que necessita de um rio próximo à cancha de arroz, e a irrigação por gotejamento, que fornece água diretamente às raízes das plantas para minimizar as perdas por evaporação. Além disso, tecnologias como irrigação subterrânea e superficial também são utilizadas em diferentes ambientes agrícolas, buscando maximizar a eficiência do uso da água e otimizar a produtividade das culturas.

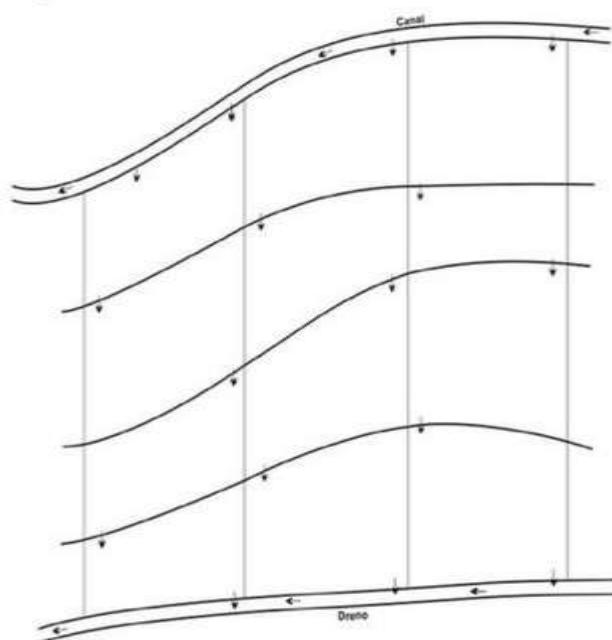
2.2 SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO

No Brasil, costuma-se fazer irrigação do arroz através de três métodos: inundação, subirrigação e aspersão. O mais popular é a inundação contínua, sendo que em sistemas de tabuleiros em contorno a água circula, enquanto em sistemas de tabuleiros retangulares a água permanece estática, mostradas na Fig. 1. A irrigação subterrânea é adequada para terras baixas drenadas, mas não sistematizadas. Atualmente, a irrigação por aspersão via pivô central ou sistemas lineares tem sido usada em áreas de terras altas e baixas para otimizar o uso da água. A quantidade de água necessária varia de acordo com os métodos de irrigação, condições climáticas, características do solo, ciclos de cultura e outros fatores (Stone; Silveira, 2023).

Além disso, é fundamental destacar a importância da gestão eficiente da água na produção de arroz, dado que as condições climáticas e os recursos hídricos variam consideravelmente em todo o país. A escolha do método de irrigação desempenha um papel crucial na otimização do uso da água e na maximização da produção. Portanto, a pesquisa contínua e a adoção de práticas sustentáveis de irrigação são essenciais para enfrentar os desafios da agricultura de arroz no Brasil.

Figura 1: Tabuleiros em contorno.

Ilustração: Gison Dias Oliveira



Fonte: Embrapa, Métodos de irrigação (2023)

Vantagens da irrigação

- Incorporação de áreas improdutivas a produção agrícola;
- Garantia de produção pois supre as deficiências hídricas;
- Colheita na entressafra;
- Mais de uma safra por ano;
- Permite a fertirrigação;
- Geração de empregos;
- Melhor qualidade da produção;
- Aumento da produtividade.

Desvantagens

- Alto consumo de água;
- Alto consumo de energia;
- Alto custo de implantação;
- Falta de mão-de-obra especializada;
- Salinização de solos inadequadamente manejados;
- Impactos ambientais como resíduos, mosquitos, alteração de ecossistemas;
- Disponibilidade hídrica.

2.2.1 Irrigação por inundação

A irrigação por inundação envolve a aplicação de uma camada de água em compartimentos, chamados tabuleiros ou taipas, que podem ter diferentes formas e tamanhos, representado na Fig 2. Existem tabuleiros retangulares, limitados por diques retos, e tabuleiros em contorno, formados por diques em curva de nível e diques retos transversais (Stone; Silveira, 2023).

Figura 2: Arroz irrigado por inundação.



Fonte: Irriga Global (2021)

A inundação pode ser contínua, mantida por grande parte do ciclo de cultivo do arroz, ou intermitente, com a reposição da água após um período de escoamento. A inundação contínua oferece diversas vantagens, como o controle de plantas daninhas, a regulação da temperatura do solo, o aumento da disponibilidade de nutrientes, a elevação do pH do solo e a economia de mão de obra. A água parada continuamente, embora estagnada, geralmente não prejudica as plantas de arroz, a menos que o sistema mix de pré-germinado seja usado, pois a decomposição anaeróbica da palha pode gerar substâncias tóxicas para as plântulas (Stone; Silveira, 2023).

No Brasil, a distribuição de lavouras irrigadas é altamente relevante, sendo o estado do Rio Grande do Sul uma região de destaque nesse cenário. Nesse contexto, observa-se uma predominância do uso de tabuleiros em contorno, caracterizados pela sua menor demanda por preparação do solo, geralmente exigindo apenas um nivelamento básico.

Esse sistema de irrigação, comumente utilizado no estado, adota a prática

da irrigação com água corrente, onde a água é aplicada no tabuleiro mais elevado e posteriormente flui de forma sequencial para os tabuleiros inferiores, culminando no escoamento do excesso de água para um dreno no último tabuleiro.

A irrigação por inundação é um método de irrigação por superfície que talvez seja o mais utilizado e difundido globalmente. Esse método envolve cobrir o terreno agrícola com uma lâmina de água, dividindo a área em tabuleiros delimitados por taipas ou pequenos diques onde ocorre o cultivo. Este sistema é especialmente comum no cultivo de arroz, onde a constante presença de água é essencial para o desenvolvimento das plantas (Silva, 2014).

A inundação se mostra como uma prática fundamental na agricultura no cultivo de arroz. No Brasil, especialmente na região Sul, esse sistema é amplamente adotado. Destaca-se a utilização de tabuleiros em contorno, que demandam menor preparação do solo. Suas condições ambientais e sustentáveis serão sempre um ponto a ser estudado e melhorado.

2.2.2 Irrigação por subirrigação

No Brasil, a subirrigação por meio do aumento do nível do lençol freático é aplicada em áreas de terras baixas não sistematizadas, onde o lençol freático está próximo da superfície do solo. Nesse método, o solo costuma permanecer saturado durante a maior parte do ciclo da cultura. Embora a demanda por água seja menor em comparação com a inundação contínua, o controle de plantas daninhas representa um desafio significativo (Stone; Silveira, 2023).

Além disso, a subirrigação requer menos mão de obra. Esse método pode ajudar a minimizar os problemas de toxicidade do ferro, uma vez que a absorção desse elemento pelas plantas é reduzida em comparação com a inundação contínua. No entanto, a produtividade do arroz obtida por meio da saturação do solo geralmente é inferior à alcançada com a inundação contínua (Stone; Silveira, 2023).

É fundamental ressaltar que a subirrigação oferece algumas vantagens na economia de água e mão de obra, fatores que podem contribuir para uma gestão eficiente dos recursos hídricos nas lavouras de arroz. A saturação do solo ao longo do ciclo da cultura, embora possa resultar em produtividades ligeiramente menores, pode ser uma alternativa interessante em regiões onde a disponibilidade de água é

limitada. No entanto, é importante destacar que o controle de plantas daninhas nesse método requer atenção especial, uma vez que a inundação contínua geralmente é mais eficaz nesse aspecto.

2.2.3 Irrigação por aspersão

Os métodos de irrigação por aspersão cobrem uma variedade de sistemas, incluindo sistemas convencionais, autopropelidos, de pivô central e lineares. Os sistemas tradicionais de sprinklers são considerados sistemas básicos e servem de base para outros sistemas. Esses sistemas são classificados em portáteis, semiportáteis e estacionários dependendo do grau de movimentação do campo e são mais indicados para irrigação de áreas menores (Stone; Silveira, 2023).

Em algumas regiões do Rio Grande do Sul, observa-se o emprego do método de irrigação por meio de pivô central, e ocasionalmente por sistemas de lateral móvel, em lavouras de arroz irrigado. A aplicação da aspersão via pivô central apresenta a vantagem de proporcionar uma economia de mais de 50% no uso de água em comparação com o sistema tradicional de inundação. Além disso, esse método oferece a possibilidade de viabilizar a rotação de culturas, o que representa um avanço significativo em termos de gestão sustentável das terras agrícolas.

Além das técnicas de irrigação mencionadas, é interessante notar que a agricultura está em constante evolução, buscando métodos mais eficientes e sustentáveis. A adoção de sistemas de aspersão, como o pivô central, demonstra o comprometimento com a otimização do uso de recursos hídricos, algo crucial para a agricultura, especialmente em regiões suscetíveis a variações climáticas.

Essas inovações refletem a busca por práticas agrícolas mais responsáveis e ambientalmente amigáveis, visando não apenas o aumento da produtividade, mas também a preservação dos recursos naturais e a promoção da sustentabilidade no setor agrícola.

2.3 SISTEMA DE IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADO

A automação, de modo geral, aprimora processos, aumentando a eficiência e reduzindo a necessidade da intervenção humana. Na irrigação, a automação

envolve o envio de sinais elétricos de um controlador para sensores, como sensores de distância, a fim de otimizar o uso de recursos hídricos. A automatização da irrigação é essencialmente um sistema hidráulico controlado por um controlador eletrônico (Giomo, 2019).

Os sistemas de irrigação automatizados evoluíram significativamente, melhorando o processo de cultivo, reduzindo a necessidade de intervenção humana e otimizando o uso da água. Com a demanda por alimentos e a necessidade de gerir os recursos hídricos, a automação da irrigação está se tornando cada vez mais popular. Isso permite uma exploração mais competitiva e rentável, além de facilitar a irrigação noturna (Giomo, 2019).

Um sistema automático de irrigação é eficaz também na economia energética para o agricultor, posteriormente será abordado também o uso de sensores, um em específico de corrente. Com um sistema automático o produtor tem a comodidade de controlar remotamente o que acontece com a sua lavoura, em alguns casos, verificá-la remotamente. Fazendo assim com que tenha segurança de seu plantio.

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Este capítulo descreve todas as etapas executadas que somadas, levam ao objetivo proposto neste trabalho. O fluxo da Fig. 3 mostra o fluxo de desenvolvimento do experimento.

Figura 3: Fluxo das etapas de execução do experimento.



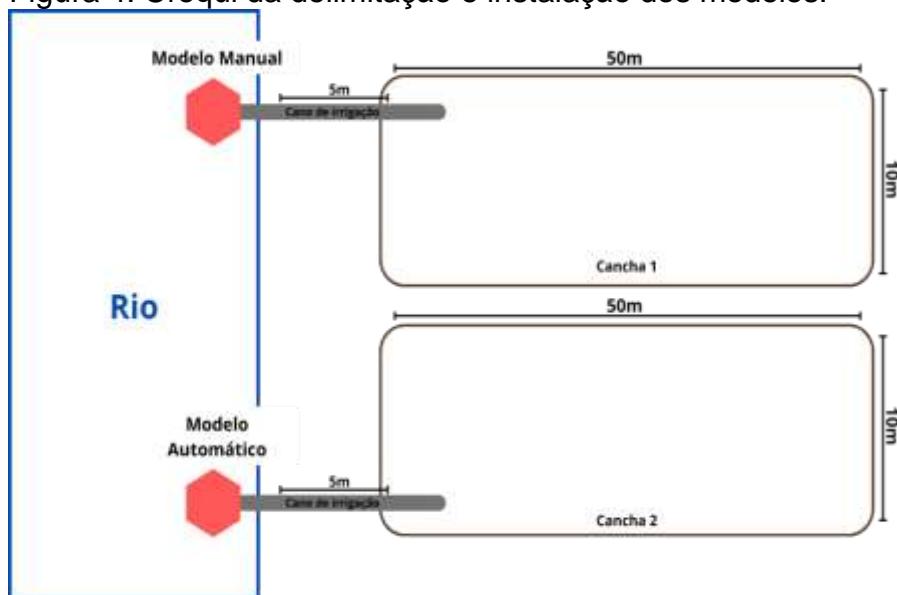
Fonte: Do Autor (2023)

3.1 DELIMITAÇÃO DA ÁREA DO EXPERIMENTO

Antes de iniciar o experimento, foi necessário decidir onde colocar os dois modelos de irrigação: o automático e o manual. Este processo exigiu uma análise das

características geográficas como a localização do rio e a distância das canchas com a motobomba. As canchas de arroz estavam localizadas em uma plantação na cidade de Meleiro/SC. Entre diversas canchas dentro da área de plantio, duas delas com aproximadamente 500 m² cada, foram selecionadas por estarem próximas ao rio e mais favoráveis a este experimento. O exemplo da instalação dos modelos nas motobombas está ilustrado no croqui da Fig. 4.

Figura 4: Croqui da delimitação e instalação dos modelos.



Fonte: Do Autor (2024)

Essa proximidade ao rio era crucial para assegurar a eficiência do sistema de irrigação, minimizando a distância que a água precisaria percorrer. Além disso, cada uma dessas áreas necessitava de uma bomba dedicada para a irrigação. A razão pela qual eram necessárias duas bombas distintas era a importância de testar e comparar os dois modelos de irrigação de forma simultânea – o automático e o manual.

3.2 CONSTRUÇÃO DO SISTEMA

Ao iniciar a construção e a programação de ambos os sistemas de controle de irrigação, foi essencial possuir um conhecimento sobre quais materiais, sensores e controladores seriam mais adequados para cada modelo do experimento. A escolha desses componentes foi fundamental para garantir o desempenho eficiente e preciso

dos sistemas. As especificações detalhadas dos materiais utilizados estão ilustradas nas Tab. 1 e Tab. 2.

Tabela 1: Componentes necessários para o modelo automático do protótipo.

Material	Valor	Quantidade
ESP32	R\$ 20,64	1
Resistor 1 KOhm	R\$ 0,26	2
Sensor Ultrassônico JSON-SR04T/AJ-	R\$ 11,57	1
SR04M		
Capacitor 1000uf	R\$ 0,55	1
Jumpers	R\$ 2,67	15
Lâmpadas de Led	R\$ 0,61	2
Boia eletrônica	R\$ 13,90	1
Sensor de Corrente Não Invasivo 30A	R\$ 17,65	1
SCT-013		
Total	R\$ 67,85	

Fonte: Do Autor (2023)

Tabela 2: Componentes necessários para o modelo manual do protótipo.

Material	Valor	Quantidade
ESP32	R\$ 20,64	1
Jumpers	R\$ 0,89	5
Lâmpadas de Led	R\$ 0,61	2
Sensor de Corrente Não Invasivo 30A	R\$ 17,65	1
SCT-013		
Total	R\$ 39,79	

Fonte: Do Autor (2023)

A escolha do microcontrolador ESP32 foi orientada por ser de baixo custo, baixo consumo de energia, conectividade sem fio, memória e processador melhores que o Arduino por exemplo. Este dispositivo oferece conectividade sem fio através do protocolo 802.11ax. Esse padrão de comunicação foi escolhido devido a disponibilidade de redes WiFi próximo ao local do experimento. A confiabilidade e a

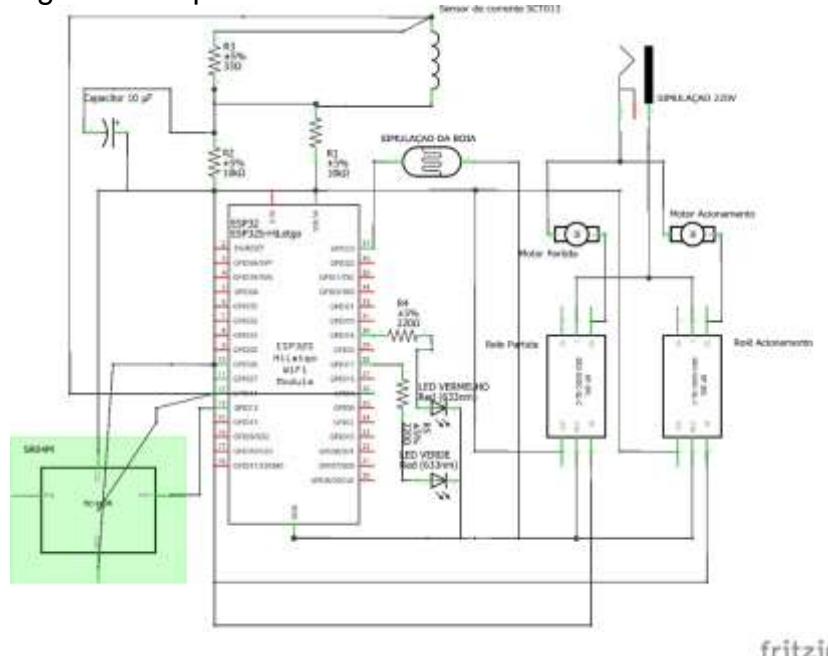
robustez da rede garantem uma transmissão contínua e eficiente das informações, essencial para o bom funcionamento do sistema de irrigação proposto neste trabalho.

Os sensores escolhidos precisavam atender às especificidades e requisitos do sistema. O sensor ultrassônico, por ser impermeável, foi selecionado para monitorar o nível do rio. O sensor de corrente foi utilizado para medir a corrente consumida pela motobomba. Para o acionamento da bomba, foram utilizados dois relés: um para o motor de partida e outro para o motor de acionamento. O esquema elétrico do sistema automático está ilustrado na Fig. 5.

O esquema elétrico ilustra a construção do sistema automatizado. Devido à limitação do software utilizado, que não possuía alguns dos sensores necessários, foram realizadas adaptações específicas. Essas adaptações foram implementadas com o objetivo de melhorar a compreensão do funcionamento do sistema e garantir que todos os componentes essenciais fossem representados de maneira clara e precisa.

A motobomba utilizada é uma unidade robusta, com 20 cv de potência, 10 A de consumo e vazão de 80 litros por segundo. Os dados foram fornecidos por Nolla Motobombas Submersas (2024), empresa responsável pelo fornecimento do equipamento.

Figura 5: Esquema elétrico do sistema automático.



3.2.1 Funcionamento do modelo automático

O modelo automático tem como objetivo eliminar a necessidade de uma pessoa ir até o local da motobomba para ligá-la manualmente, facilitando todo o processo. O funcionamento desse modelo está detalhado na Fig. 6.

Figura 6: Fluxo de funcionamento do sistema automático.



Fonte: Do autor (2024)

O funcionamento inicial do sistema automático dependia das leituras dos sensores. Os sensores de corrente, nível de água e nível da cancha foram monitorados para orientar o processo subsequente. O nível da cancha foi utilizado apenas na programação e seus dados não foram enviados. O sistema foi programado para enviar dados a cada minuto. Em caso de falha no envio, os dados seriam colocados em uma fila e reenviados junto com dados mais recentes, garantindo a integridade e atualidade das informações.

Após o envio dos dados, se os níveis do rio e da cancha estivessem dentro dos parâmetros estabelecidos, o sistema avançaria para a próxima fase. Nesse estágio, seria necessário acionar os relés. Cada motobomba utilizou dois relés, um para o motor de acionamento e outro para o motor de partida. Se algum sensor indicar que os níveis estivessem fora dos parâmetros, ambos os relés seriam desligados, interrompendo o funcionamento da bomba para garantir a segurança e a integridade do equipamento.

3.2.1.1 Interface do sistema automático

O modelo automático contou com um sistema desenvolvido em React.js, uma biblioteca Javascript utilizada para a criação de sistemas web. Nesse caso, React.js foi empregado para construir uma interface no formato de aplicativo, permitindo o controle e a visualização de diversos dados relacionados à motobomba. A Fig. 7 ilustra a interface do sistema, o software exibe o status dos relés (ligados ou desligados), ilustrado pelas cores verde e vermelho, além de apresentar dados sobre a corrente elétrica e o nível do rio.

O sistema também incluiu uma opção de "Modo Manual", que permitiu ao usuário desligar o sistema quando fosse necessário realizar manutenção na motobomba ou em seus componentes associados. Esta funcionalidade foi crucial para garantir a segurança e a facilidade de acesso durante procedimentos de manutenção ou ajustes técnicos.

Figura 7: Interface do sistema automático.

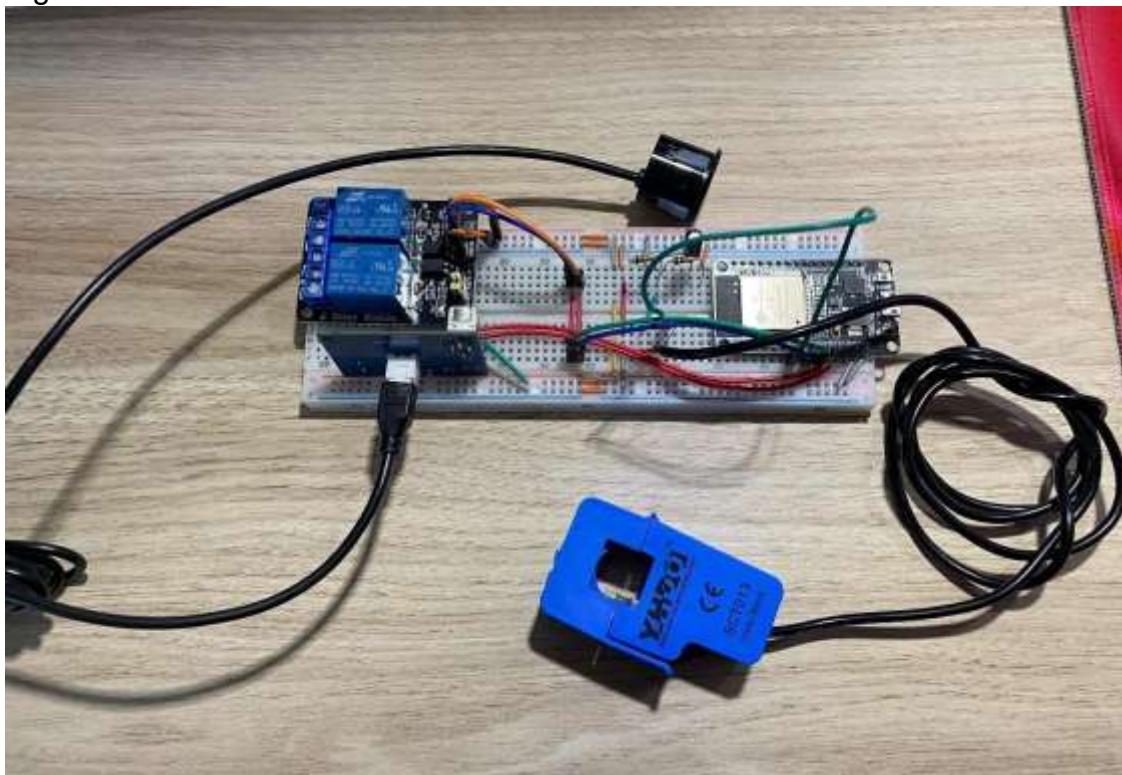


Fonte: Do autor (2024)

3.2.1.2 Construção do modelo automático

A construção do hardware utilizando o microcontrolador ESP32 foi essencial para o desenvolvimento do sistema automático. O ESP32 foi escolhido devido às suas capacidades de processamento, conectividade Wi-Fi e suporte a múltiplos sensores, o que o torna ideal para aplicações de automação e controle. O hardware está ilustrado abaixo na Fig. 8.

Figura 8: Hardware do sistema automático.



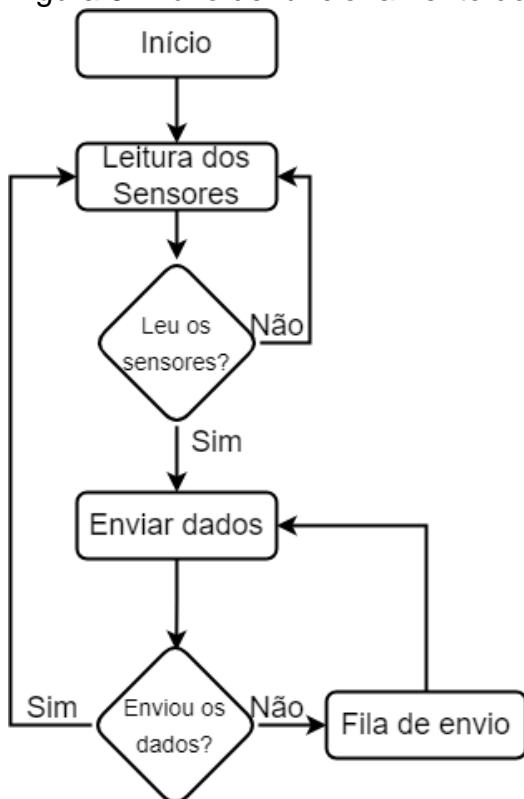
Fonte: Do autor (2024)

A integração dos sensores com o ESP32 foi realizada utilizando os pinos de entrada analógica e digital do microcontrolador. Os dados coletados pelos sensores são processados pelo ESP32 e transmitidos via Wi-Fi para a interface desenvolvida. Além disso, um módulo de alimentação foi adicionado ao sistema para garantir que o ESP32 e os sensores recebam a tensão e corrente adequadas para o seu funcionamento.

3.2.2 Construção do modelo manual

O modelo manual teve como objetivo principal comparar e verificar os dados com a ação de um indivíduo que vai até o local da motobomba para operá-la manualmente. Este modelo permitiu avaliar a eficiência e a precisão do sistema automático em relação ao controle manual tradicional. O funcionamento detalhado desse modelo, está representado na Fig. 9, proporcionando uma visão clara e estruturada de como o sistema irá operar.

Figura 9: Fluxo de funcionamento do sistema manual.



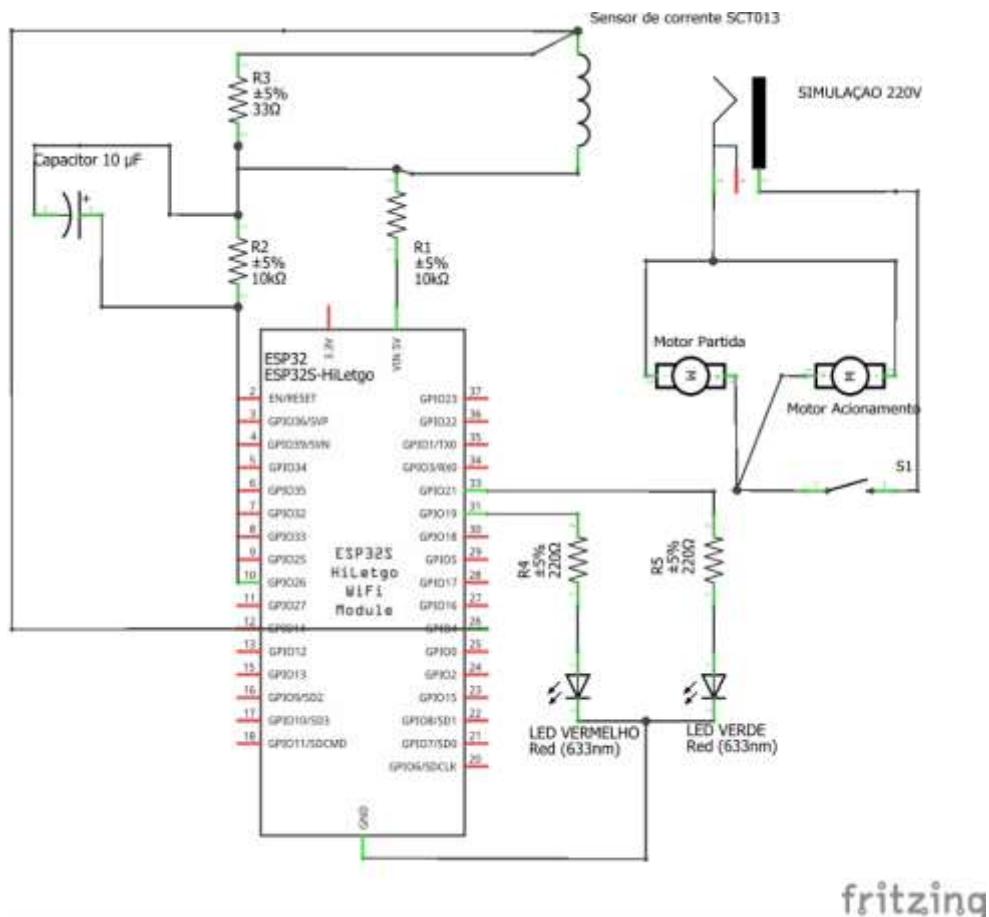
Fonte: Do Autor (2024)

O modelo manual foi derivado do modelo automático, mas sem as funções de automação da motobomba. Seu propósito foi permitir a comparação entre os dois modelos com base nos dados fornecidos. Enquanto no modelo automático a motobomba era acionada e desligada automaticamente, no modelo manual foi necessário a intervenção humana no local para essas operações.

As funções de envio de dados permaneceram as mesmas, no entanto, para o modelo manual, não foram necessários dados como o nível da cancha ou o nível do

rio, apenas os dados de corrente foram monitorados. Esta configuração simplificada facilita a análise comparativa da eficiência e eficácia entre os dois modelos. A partir do esquema elétrico ilustrado na Fig. 10, têm-se um melhor entendimento da construção do sistema manual como um todo.

Figura 10: Esquema elétrico do modelo manual.



Fonte: Do Autor (2024)

O esquema de modelo manual é mais simples, uma vez que requer intervenção humana para funcionar. Este sistema monitora apenas a corrente do sistema para obter resultados e comparações com o modelo automatizado nos próximos capítulos.

3.2.1 Interface do modelo manual

O modelo manual também teve a sua interface desenvolvida com as mesmas tecnologias do modelo automático. Porém esta versão foi simplificada

apenas para o monitoramento da corrente como mostra a Fig. 11.

Figura 11: Interface do modelo manual.



Fonte: Do autor (2024)

O sistema manual foi simplificado, fornecendo apenas uma foto ilustrativa e o nível da corrente elétrica. Como se tratava de um modelo manual, informações adicionais não foram necessárias para o operador, uma vez que a ligação ou desligamento da motobomba necessitava de intervenção humana direta. Este mínimo foi suficiente para que o indivíduo tomasse as decisões necessárias durante a operação.

3.3 COLETA DE DADOS

Os modelos foram instalados no local do experimento e permaneceram operacionais por um período de quinze dias. Durante esse tempo, ambos os sistemas

- o automático e o manual - enviaram dados a cada minuto para a base de dados. A tabela onde era armazenado os dados do modelo manual salvou dados como: corrente e o estado motobomba (ligado ou desligado), contudo, o modelo armazenou 3962 registros. Em contrapartida o modelo automático armazenou dados de: nível de cancha, nível do rio, relés, corrente e se estava ligado, o modelo contou com um total de 3713 registros.

Este processo contínuo de coleta permitiu o monitoramento quase em tempo real de diversas variáveis do experimento. Os dados coletados incluíram informações sobre o nível da corrente elétrica, e no caso do modelo automático, os níveis do rio, nível da cancha e o status dos relés. Este fluxo constante de informações será essencial para avaliar, na etapa seguinte a eficiência e a eficácia dos modelos.

Será essencial analisar para a próxima etapa, ao final dos quinze dias, a quantidade de dados acumulada ofereceu uma visão abrangente e detalhada do desempenho dos modelos, permitindo uma análise aprofundada e formulação de conclusões para os desafios encontrados da irrigação por inundação. Os dados eram enviados a cada minuto para um banco de dados SQL na nuvem, onde poderiam ser acessados remotamente.

3.4 TRATAMENTO E ANÁLISE DE DADOS

Durante a preparação inicial dos dados, foi essencial filtrar informações desnecessárias resultantes de erros de leitura ou falhas de conexão. Dados errôneos foram identificados e substituídos pela média das amostras anteriores e subsequentes. Este processo de limpeza assegura a integridade dos dados, evita que ruídos interfiram nas análises subsequentes e garante que apenas informações relevantes e precisas sejam utilizadas.

Após a substituição dos dados indesejáveis, foi necessário filtrar os dados para considerar apenas os períodos em que a motobomba estava ligada. Esse passo foi crucial para garantir a precisão das medições e permitir o cálculo correto da média da potência e do tempo de operação da motobomba ao longo dos 15 dias analisados. Os dados filtrados foram então utilizados para calcular a média da potência consumida e o total de horas de funcionamento diário.

Os resultados da média diária de funcionamento dos modelos estão

ilustrados abaixo, Tab. 3.

Tabela 3: Comparativo da média diária entre os modelos automático e manual.

Modelos	Tempo Operação	Consumo	Acionamentos
Automático	1 h 40 min	9,035 (Ah)	10
Manual	2 h	8,980 (Ah)	10

Fonte: Do Autor (2024)

Com esses dados foi possível ter ciência de que o modelo automático, por não precisar de intervenção humana, operou de forma autônoma durante o experimento. Para saber o consumo médio de energia em watts foi necessário acessar cada linha da coluna de corrente e transformá-la para potência utilizando a Equação 1, criando assim, uma nova coluna chamada “potência”. Logo após a transformação, foi percorrido toda a nova coluna e feito a média dos valores em watts para os cálculos.

3.4.1 Cálculos

Esta seção descreve o procedimento utilizado para obtenção dos valores de potência e energia consumida. As Equações 1 e 2 demonstradas neste capítulo foram retiradas do livro "Eletricidade Básica" da Coleção Schaum, escrito por Milton Gussow¹².

$$P = V * I \quad (1)$$

Onde:

P = Potência (W);

V = Tensão (V);

I = Corrente (A).

Essa fórmula básica permite calcular a quantidade de energia consumida por um dispositivo ao longo do tempo. No contexto da análise das motobombas, medir a potência média diária é crucial para avaliar a eficiência energética e comparar o

desempenho entre os modelos automático e manual.

O cálculo utilizado para calcular a energia elétrica consumida pela motobomba está localizado na página 56 da obra. A equação abaixo consiste em saber a quantidade de kWh produzido por ambos os modelos.

$$E_{el} = P \cdot \Delta t \quad (2)$$

Onde:

E_{el} = Energia elétrica (kWh);

P = Potência (kW);

Δt = Intervalo de tempo de uso (h).

Um dado importante foi o tempo, em minutos, que os sistemas permaneceram ligados. Com base nesse dado, foi possível medir empiricamente, utilizando a Equação 3 a quantidade de litros de água consumida por cada modelo, permitindo assim a comparação entre eles. O cálculo empírico realizado a seguir foi utilizado para determinar a quantidade de litros de água consumida por ambos os modelos.

$$x = v * t * 60 \quad (3)$$

Onde:

x = Total gasto de água (L);

v = Vazão motobomba (L/s);

t = Tempo de funcionamento motobomba (min);

60 = Constante para conversão (minutos para segundos).

Essa fórmula demonstra a versatilidade de medir o consumo de energia de qualquer dispositivo que requer eletricidade, simplesmente considerando a potência do dispositivo e o tempo de uso. Por exemplo, ao multiplicar a quantidade de horas de uso por dia, digamos 1,5 horas, pela duração total do experimento, como 15 dias, obtemos um resultado preciso do consumo total de energia ao longo desse período. Essa abordagem direta e simples permite uma análise detalhada do consumo de energia, proporcionando insights valiosos para otimizar a eficiência energética e

economizar recursos.

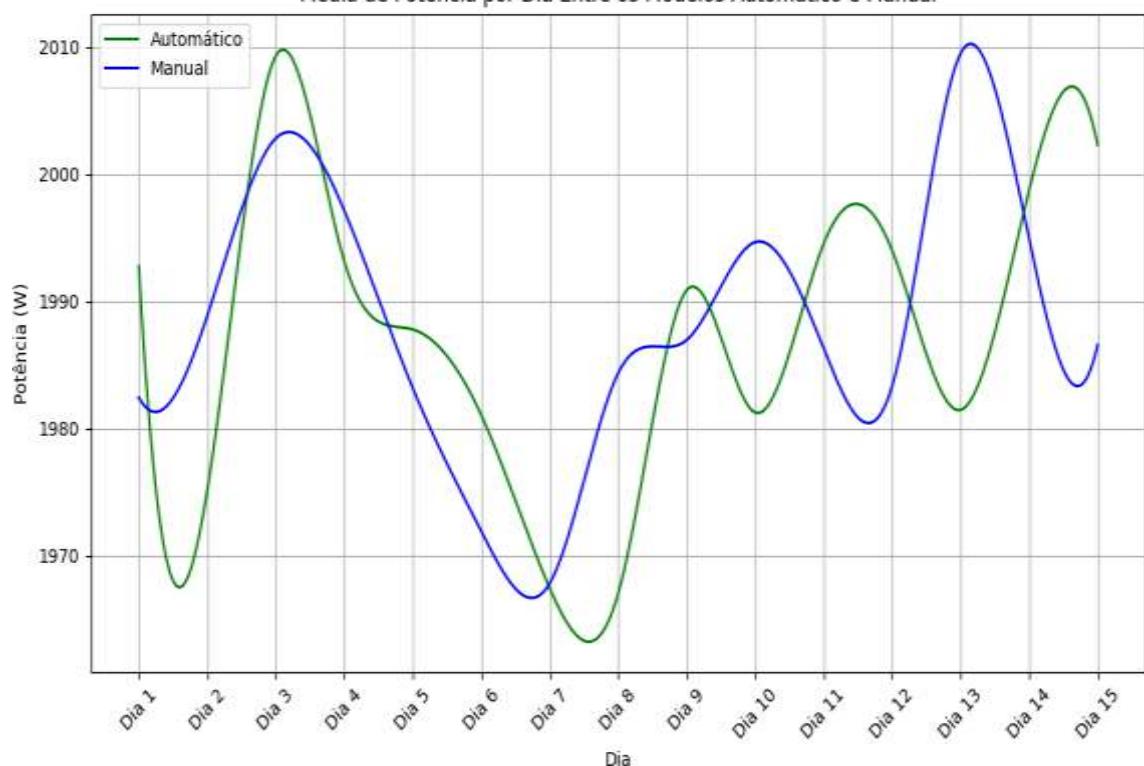
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados os resultados obtidos a partir do procedimento experimental descrito na seção anterior. Os dados coletados foram analisados para avaliar a eficiência energética e hídrica dos modelos de controle automático e manual de irrigação.

Um dado de relevância é a média diária do consumo de potência dos modelos, conforme ilustrado na Figura 12.

Figura 12: Média da potência diária entre os modelos deste experimento.

Média de Potência por Dia Entre os Modelos Automático e Manual



Fonte: Do Autor (2024)

O gráfico fornece uma análise do desempenho do consumo elétrico nos modelos automático e manual ao longo de 15 dias. A comparação entre os modelos automático e manual é facilitada ao analisar os dados de potência média diária e o tempo total de operação de cada modelo. O modelo automático, com uma potência média de 1987,81 W (1,98781 kW) e um tempo de operação de 1560 minutos,

demonstrou uma eficiência superior em aproximadamente 10,92% em comparação ao modelo manual, que teve uma potência média de 1974,8 W (1,9748 kW) e operou por 1763 minutos.

Essa comparação gráfica não apenas destaca as diferenças no consumo de energia, mas também fornece uma base sólida para avaliar qual modelo é mais eficiente e econômico, auxiliando na tomada de decisões informadas sobre a implementação e uso das motobombas. Convertendo-se o tempo de ambos os experimentos de minutos para horas, e depois multiplicando-se pela quantidade de dias que durou o experimento, tem-se:

$$\Delta t = \frac{1560}{60} * 15 = 390 \text{ h (Automático)}$$
$$\Delta t = \frac{1763}{60} * 15 = 440.7 \text{ h (Manual)}$$

Agora calculando-se a energia consumida através da Equação 2 para cada experimento temos:

$$Eel = 1.98781 * 390$$
$$Eel = 775,2459 \text{ kWh} \rightarrow \text{Modelo Automático}$$

$$Eel = 1.97480 * 440.7$$
$$Eel = 870,29436 \text{ kWh} \rightarrow \text{Modelo Manual}$$

Observa-se que o modelo automático economizou aproximadamente 95,04 (10,92%) kWh em 15 dias, o que corresponde a R\$ 51,32 (R\$ 0,54 kWh no local) em termos monetários, em comparação ao modelo manual. Este resultado é crucial para a conclusão do experimento, indicando uma vantagem clara do modelo automático em termos de eficiência energética.

Projeta-se que, ao longo do período de plantio de quatro meses, na área controlada de aproximadamente 500 m², a economia de energia pode chegar a cerca de 760,32 kWh (R\$ 410,57). Com base em informações empíricas fornecidas pelo agricultor, proprietário da área do experimento, estima-se que, na safra de 2024 foram gastos aproximadamente R\$ 10.000,00 de energia para irrigar 20 hectares de plantação. Caso tivesse utilizado um sistema automático de irrigação, o gasto seria

de R\$ 8.908,00, resultando em uma redução de 10,92%.

Uma vantagem significativa foi a do consumo hídrico calculado de forma empírica com a Equação 3, o modelo automático por conseguir operar por tempo reduzido utilizou aproximadamente 7.488.000 L de água, enquanto o modelo manual utilizou cerca de 8.462.400 L. Isso mostra outra clara vantagem ao modelo automático. O proveito do modelo automático em termos de consumo hídrico é uma redução do consumo de água de aproximadamente 11,52%.

Um estudo similar busca implementar um sistema automático para o gerenciamento hídrico de uma plantação de arroz, resultando em uma redução de 14,2% na utilização da água em comparação com os métodos comuns (LEE, 2022). Conforme observado nesta literatura, os dados sobre a redução do consumo hídrico (11,52%) e energético (10,92%) também mostram impactos positivos significativos, contribuindo assim para os produtores de arroz.

5 CONCLUSÃO

Dois modelos, um manual e outro automático, de controle para a irrigação de arroz foram apresentados neste artigo. Os resultados da aplicação de um modelo automatizado de irrigação foram positivos em relação ao modelo manual, por três fatores: menor consumo energético, menor consumo hídrico e comodidade ao operador. Em alguns casos, a diferença dos resultados pode ser maior do que os obtidos neste trabalho, especialmente devido ao fato de muitas plantações serem distantes.

Alguns desafios que podem ser encontrados seria primeiramente a questão de conectividade, em áreas remotas muitas vezes será mais difícil este aspecto e a aplicação em uma única família (arroz), o que limita a generalização para outras culturas. Como proposta de trabalhos futuros sugere-se a integração com outros meios de comunicação, a utilização de sensores mais específicos para diferentes condições ambientais para a melhor precisão e eficiência.

REFERÊNCIAS

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Estudo inédito avalia resultados do Programa de Eficiência Energética** Disponível em: <https://www.gov.br/anaeel/pt-br/estudos-e-publicacoes/estudo-inedito-avalia-resultados-do-programa-de-eficiencia-energetica>



[br/assuntos/noticias/2023/estudo-inedito-avalia-resultados-do-programa-de- eficiencia-energetica](https://www.gov.br/assuntos/noticias/2023/estudo-inedito-avalia-resultados-do-programa-de-eficiencia-energetica). Acesso em: 20 maio. 2024

BRASIL, Ministério de Minas e Energia. **Para um futuro mais sustentável, a eficiência energética se faz presente no Brasil e no Mundo** Disponível em: <https://www.gov.br/mme/pt-br/assuntos/noticias/para-um-futuro-mais-sustentavel-a-eficiencia-energetica-se-faz-presente-no-brasil-e-no-mundo>. Acesso em: 20 maio. 2024

Políticas Públicas. **Agricultura Irrigada - Entenda - Informações Gerais.**

Disponível em:

https://politicaspublicas.almg.gov.br/temas/agricultura_irrigada/entenda/informacoes_gerais.html?tagNivel1=192&tagAtual=10074. Acesso em: 20 maio. 2024.

CAMPOS, J. **Agricultura irrigada no Brasil: conheça as principais estratégias e desafios!** Disponível em: <https://www.cptcursospresenciais.com.br/blog/agricultura-irrigada/>. Acesso em: 8 set. 2023

DA SILVA E GABRIELLE CAROLINE DESBESSEL, J. F. Z. K. N. J. A. A. **Manejo da irrigação por inundação contínua e seu efeito no controle de plantas invasoras em arroz irrigado.** 7 abr. 2014.

Governança e Gestão, Secretaria de Planejamento. **Arroz: O Rio Grande do Sul é o maior produtor de arroz em casca do Brasil.** Disponível em: <https://atlassocioeconomico.rs.gov.br/arroz/>. Acesso em: 14 set. 2023.

STONE E SILVEIRA. **Métodos de irrigação.** Disponível em:

<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/arroz/pre-producao/metodos-de-irrigacao> Acesso em: 6 nov. 2023.

Irriga Global. **Métodos de Irrigação: sistemas, características e aplicações.**

Disponível em: <https://irrigaglobal.com.br/metodos-de-irrigacao-sistemas- caracteristicas-e-aplicacoes/> Acesso em: 6 nov. 2023.

GIOMO, Diogo. **Desenvolvimento de um sistema de irrigação automatizado de baixo custo.** Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/4980>. Acesso em 6 nov. 2023.

GOUVEIA, R. **Potência Elétrica.** Disponível em:

<https://www.todamateria.com.br/potencia-eletrica>. Acesso em: 27 maio. 2024.

LEE, J. **Evaluation of automatic irrigation system for rice cultivation and sustainable agriculture water management. Sustainability**, v. 14, n. 17, p. 11044, 2022.

GUSSOW, Milton. **Eletricidade Básica.** Coleção Schaum. Porto Alegre: Bookman, 2009.