

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

ANTONIO EDUARDO DE OLIVEIRA NETO

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO TIPO
PIVÔ CENTRAL PARA FINS EDUCACIONAIS

Monte Carmelo
2024

ANTONIO EDUARDO DE OLIVEIRA NETO

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO TIPO
PIVÔ CENTRAL PARA FINS EDUCACIONAIS

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de Agronomia da Universidade Federal de Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como requisito necessário para a obtenção do grau de Engenheiro Agrônomo.

Orientador: Prof. Dr. Eusímio Felisbino Fraga Junior

Monte Carmelo
2024

ANTONIO EDUARDO DE OLIVEIRA NETO

DESENVOLVIMENTO DE PROTÓTIPO PARA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO TIPO
PIVÔ CENTRAL PARA FINS EDUCACIONAIS

Trabalho de Conclusão apresentado ao curso de
Agronomia da Universidade Federal de
Uberlândia, Campus Monte Carmelo, como
requisito necessário para a obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Monte Carmelo, 26 de novembro de 2024

Banca Examinadora

Prof. Dr. EUSIMIO FELISBINO FRAGA JUNIOR

Prof. Dr. ODAIR JOSE MARQUES

Prof. Dr. OSVALDO RETTORE NETO

Monte Carmelo
2024

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida, e por me ajudar a ultrapassar todos os obstáculos ao longo do curso.

Aos meus pais, minha irmã e meus amigos pelos incentivos e dedicação que sempre tiveram por mim.

A construção da etapa 1 do mini pivô recebeu um impulso significativo com a contribuição do ex-aluno Diogo Alves Agostinho, cujo envolvimento foi fundamental para o sucesso do projeto.

Durante todo o processo da etapa 2, o projeto recebeu o auxílio do discente Gustavo Lemos. Sua dedicação e expertise foram fundamentais para o avanço e sucesso desta fase da construção do mini pivô.

Aos professores, pelos ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional.

Por fim, ao meu Professor/orientador Eusímio F. Fraga Junior pela amizade construída, respeito e orientação dada durante todo o período de projeto e na escrita deste relatório.

SUMÁRIO

RESUMO	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. OBJETIVO	7
3. REFERENCIAL TEÓRICO	8
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	10
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6. CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS	30

RESUMO

A falta de água diminui a taxa de produção das espécies vegetais, pois reduz, principalmente a atividade fotossintética. As mudanças climáticas são vistas como desafios ambientais, especialmente devido às alterações nos padrões de precipitação, que resultam em chuvas irregulares. Diante disso, destacam-se os sistemas de irrigação e atualmente, o mais difundido no mundo é a aspersão por pivô central. Tal tecnologia tem seu uso para mitigar a queda do rendimento das lavouras em épocas de cultivo com chuvas insuficientes e/ou em áreas nas quais seria impossível o cultivo sem irrigação, sendo uma alternativa para ofertar água para a lavoura durante todo o ciclo de cultivo da cultura. Neste sentido, o desenvolvimento de tecnologias acessíveis para irrigação é essencial no enfrentamento das mudanças climáticas, especialmente em cenários de escassez hídrica. Este projeto teve como objetivo construir e avaliar a eficácia de um protótipo de pivô central em escala reduzida, por meio da validação do equipamento em termos de uniformidade de aplicação de água e simplicidade operacional, consolidando conceitos de irrigação mecanizada para estudantes e profissionais das ciências agrárias. Portanto, o protótipo de pivô central em escala reduzida demonstrou eficácia técnica com índices de uniformidade de 81,6 até 93,3%, comprovando sua capacidade de simular o sistema de irrigação mecanizada.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é uma das práticas agrícolas mais importantes para garantir a produtividade e a sustentabilidade das lavouras, especialmente em regiões de clima seco ou com pouca regularidade de chuvas. Entre os diversos sistemas de irrigação disponíveis, o pivô central destaca-se como uma das tecnologias mais eficientes e amplamente utilizadas. O pivô central é um sistema automatizado de irrigação que utiliza um mecanismo rotativo para distribuir água de maneira uniforme por grandes áreas de cultivo. Ele é composto por uma estrutura circular, com tubos conectados a sprinklers, e seu funcionamento é baseado no movimento de rotação, que permite irrigar um campo de forma eficaz, economizando tempo, água e energia.

Esse tipo de irrigação tem se mostrado fundamental para o aumento da produção agrícola, permitindo o cultivo de plantas em áreas antes consideradas improdutivas e garantindo o uso racional dos recursos hídricos. A tecnologia de pivô central é sofisticada e exige conhecimento técnico para ser operada e mantida de forma eficiente.

A inclusão de um protótipo de pivô central em uma instituição de ensino, como uma faculdade, é de grande importância, pois permite que os alunos vivenciem na prática o funcionamento desse sistema de irrigação. Ao ter acesso a um modelo funcional, os estudantes podem compreender melhor a dinâmica do sistema, identificar suas vantagens e limitações, além de se familiarizar com os aspectos técnicos que envolvem a operação e a manutenção do equipamento. Isso proporciona uma formação mais completa e prepara os futuros profissionais para enfrentarem os desafios do setor agrícola, que exige inovação constante. Além disso, um protótipo em uma faculdade estimula a pesquisa, o desenvolvimento e a busca por soluções mais eficientes para a gestão de recursos hídricos, promovendo o aprendizado por meio da experimentação e da análise crítica.

2. OBJETIVO

O objetivo deste projeto foi avaliar a eficácia de um protótipo de pivô central em escala reduzida, com foco na uniformidade de irrigação, simplicidade de operação e aplicabilidade no ensino das práticas de manejo hídrico e irrigação mecanizada na UFU – Campus Monte Carmelo, visando fortalecer a formação técnica e prática dos estudantes em ciências agrárias.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. Panorama da Irrigação por Pivô Central no Brasil

A irrigação por pivô central é uma das tecnologias mais importantes para a agricultura irrigada no Brasil, desempenhando um papel crucial na segurança alimentar e na produção de diversos cultivos, como soja, milho e feijão. Este sistema se destaca pela eficiência na aplicação de água e pela possibilidade de cobrir grandes áreas com uma distribuição homogênea de irrigação, o que é essencial em regiões com clima semiárido e em períodos de irregularidade das chuvas. A irrigação por pivô central é responsável por uma significativa parcela da área irrigada no Brasil, com cerca de 25% da área total irrigada utilizando essa tecnologia (ANA, 2021).

O Brasil tem visto uma expansão contínua do uso da irrigação por pivô central nas últimas décadas. Na década de 1980, o país começou a adotar amplamente essa tecnologia, especialmente em regiões como o Centro-Oeste, Sudeste e Nordeste, onde a irregularidade das chuvas era um fator limitante para a agricultura. Durante esse período, a área irrigada com pivôs centrais começou a crescer de forma expressiva, com o avanço das fronteiras agrícolas e o aumento das necessidades de irrigação para garantir a produção nas épocas de estiagem (ANA, 2021).

Nos anos 1990, o Brasil passou a contar com um número crescente de produtores adotando a irrigação por pivô central, especialmente em estados como Goiás, Mato Grosso e Bahia. Nesse período, a irrigação por pivô se consolidou como uma das principais tecnologias utilizadas na agricultura, sendo aplicada principalmente em grandes áreas de cultivo de soja, milho e algodão. A expansão do sistema foi acompanhada por inovações tecnológicas, como o uso de sistemas de automação e monitoramento, que proporcionaram maior eficiência no uso da água e redução de custos operacionais (ANA, 2021).

Na década de 2000, a irrigação por pivô central no Brasil experimentou um crescimento acelerado, com uma maior adesão ao sistema em diversas regiões agrícolas do país. O aumento da demanda por alimentos e a necessidade de garantir produtividade em áreas com precipitação irregular impulsionaram a adoção dessa tecnologia. O Brasil se tornou um dos países com maior área irrigada por pivô central, com a área total de cultivo irrigada por essa tecnologia ultrapassando 1,5 milhão de hectares até 2010 (EMBRAPA, 2015).

Em 2020, a área irrigada por pivô central no Brasil chegou a aproximadamente 3 milhões de hectares, um número expressivo quando comparado a outros países produtores. O

crescimento tem sido impulsionado pela expansão das fronteiras agrícolas para regiões do Cerrado e do semiárido, onde a irrigação se tornou essencial para a manutenção da produtividade em épocas de escassez hídrica. Além disso, o aumento da eficiência dos pivôs centrais, aliado a novos sistemas de controle e automação, tem permitido maior flexibilidade para adaptar a irrigação às necessidades específicas de cada cultivo.

Essa expansão da irrigação por pivô central reflete a crescente importância desse sistema para a agricultura brasileira, especialmente em um contexto de mudanças climáticas e aumento das pressões sobre os recursos hídricos. O uso dessa tecnologia tem contribuído para a estabilização da produção agrícola, garantindo que o Brasil continue a ser um dos maiores produtores e exportadores de alimentos do mundo, mesmo em face da variabilidade climática.

3.2. Características Técnicas e Operacionais do Pivô Central

O pivô central é caracterizado por uma estrutura rotativa fixa em um ponto central, composta por um braço horizontal equipado com aspersores ao longo de sua extensão. Este sistema distribui água de forma homogênea em áreas circulares, sendo projetado para alcançar coeficientes de uniformidade superiores a 80% quando corretamente instalado e operado (KELLER; BLIESNER, 1990). Além disso, sistemas modernos podem incorporar automação e sensores de solo e clima, que ajustam automaticamente a lâmina de água aplicada de acordo com as condições específicas de cultivo. A simplicidade operacional e a flexibilidade para diferentes tipos de solo e climas tornam o pivô central uma escolha viável tanto para pequenas quanto para grandes propriedades agrícolas, maximizando a produtividade e promovendo o uso racional dos recursos (FERREIRA et al., 2020).

3.3. Protótipos de Pivô Central em Escala Reduzida

A aplicação de protótipos de irrigação no ensino de ciências agrárias promove a integração entre teoria e prática, preparando os estudantes para enfrentar os desafios do setor agrícola. Segundo Lopes et al. (2018), modelos didáticos aumentam o engajamento e facilitam a compreensão de conceitos complexos, como eficiência hídrica e manejo de recursos naturais.

O uso de protótipos em escala reduzida tem ganhado destaque no ensino de ciências agrárias, oferecendo aos estudantes a oportunidade de compreender conceitos técnicos e operacionais de sistemas de irrigação. Lima et al. (2019) desenvolveram um protótipo automatizado com raio de 10 metros, que incluiu controle remoto e sensores de umidade,

demonstrando sua aplicabilidade no ensino técnico. Silva et al. (2018) adaptaram um modelo para simular o cultivo em estufas, analisando os impactos da irrigação mecanizada em hortaliças. Medeiros et al. (2021) utilizaram um pivô central didático em atividades universitárias, permitindo a análise de parâmetros como uniformidade de aplicação e eficiência operacional. Esses projetos destacam a importância dos modelos físicos na consolidação de conhecimentos teóricos, promovendo uma aprendizagem ativa e prática.

Por fim, o uso de tecnologias emergentes, como automação e sensoriamento remoto, fortalece a formação técnica e científica dos futuros profissionais, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade e inovação (SILVA; OLIVEIRA, 2019).

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Construção de protótipo de irrigação por deslocamento lateral radial (mini pivô central).

O projeto foi conduzido na área experimental da Universidade Federal de Uberlândia, Campus de Monte Carmelo, localizada nas coordenadas de 18°43'37'' latitude Sul, 47°31'29'' longitude Oeste de Greenwich e altitude média de 890 metros, conforme a Figura 1. A parte estrutural do equipamento foi feita na empresa CIA METALICA em Uberlândia Minas Gerais



Figura 1. Caracterização do local do estudo.

Foi realizada a construção de protótipo de um mini pivô central com raio de 8 metros de comprimento e 2,10 metros de altura, totalizando uma área de abrangência de 200 m². Inicialmente o projeto foi confeccionado utilizando o software *SketchUp* com interface de desenho gráfico em 3D do equipamento, para planejamento de seu funcionamento e características estruturais, conforme a Figura 2. O equipamento foi pensado na altura de 2,10 para facilitar as operações de manutenção e o raio de 8 metros devido as limitações da área experimental.

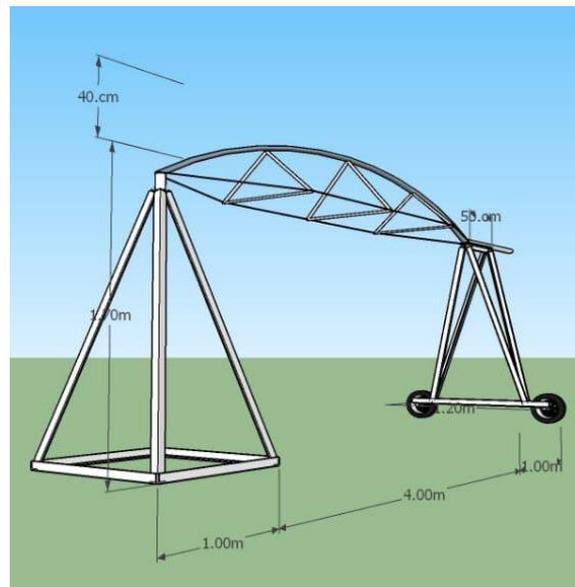


Figura 2. Esquema do protótipo. Fonte: Autoria Própria

Para sustentação do equipamento foram utilizadas barras de tubo de aço galvanizado de diâmetro comercial de 50mm e cantoneiras de 40mm conforme a Figura 3. No processo de construção da estrutura idealizada no projeto utilizou-se solda elétrica e máquina de solda inversora LHN 240i Plus Monofásica 220V ESAB. O protótipo foi consolidado com algumas treliças a fim de ficar esteticamente parecido com o modelo real de um pivô central.



Figura 3. Construção do pivô. Foto: Antônio Eduardo

Para a movimentação do pivô central, foi adotado um sistema cuidadosamente projetado, composto por diversos componentes essenciais para garantir seu funcionamento eficaz. A seguir, detalharemos cada um desses componentes:

a) rodas de 8 polegadas: as rodas desempenham um papel fundamental na movimentação do pivô, proporcionando suporte e tração adequados para deslocar o equipamento ao longo do terreno. As rodas escolhidas possuem um diâmetro de 8 polegadas, dimensionadas para garantir estabilidade e eficiência durante o deslocamento. O pneu utilizado, pensando em maior tração foi o pneu com cravos, comercialmente conhecido como “pneu de carrinho de mão”

b) transmissão e kit de relação entre eixos: uma transmissão foi empregada para transferir a rotação do motor para as rodas do pivô. Essa transmissão utiliza um kit de relação entre eixos, composto por um pinhão de 16 dentes e uma coroa de 52 dentes. Essa relação de engrenagens foi cuidadosamente selecionada para garantir a proporção correta de rotação e torque, permitindo um desempenho otimizado do equipamento. Esse kit relação foi pensado para maior tração (kit relção de moto de cross).

c) motor e fonte de alimentação: o equipamento é acionado por um motor elétrico, operando com uma tensão de alimentação de 220V. Esta fonte de energia elétrica proporciona a potência necessária para movimentar o pivô de forma eficiente e confiável. Para movimento da linha lateral, um dos principais componentes do projeto, foi empregado um motor da marca "TEK8". Com uma taxa de rotação de 5 rotações por minuto (rpm), esse motor foi selecionado especificamente para garantir a movimentação do mini pivô, a volta completa 15 minutos.



Figura 4. Motor 220v utilizado.

d) Os anéis coletores e as escovas de carvão desempenham papéis essenciais no funcionamento dos sistemas de irrigação por pivô central, especialmente na transmissão de energia elétrica para o motor que permite o movimento rotativo do equipamento. No caso específico do pivô central, foram instalados dois anéis coletores feitos de alumínio e policarbonato, materiais que combinam resistência e alta capacidade de condução elétrica. Localizados na base do pivô, esses anéis têm a função de transmitir a corrente elétrica de forma contínua e eficiente, mesmo enquanto o equipamento realiza seu movimento rotacional. Isso garante que o sistema opere de maneira estável e sem interrupções, essencial para o bom funcionamento da irrigação.

Para manter a transmissão elétrica de forma constante, foram incorporadas quatro escovas de carvão, que mantêm contato direto com os anéis coletores durante a rotação do pivô. As escovas são feitas de carvão, um material com boa condutividade elétrica e resistência ao desgaste, e sua principal função é garantir que a corrente elétrica seja conduzida de maneira contínua, sem falhas. Elas pressionam os anéis coletores com uma força constante, o que evita que a fiação elétrica se enrosque ou sofra danos enquanto o pivô gira, um problema que poderia comprometer a operação do sistema.

O conjunto dos anéis coletores e das escovas de carvão é fundamental para a eficiência e a confiabilidade do pivô central. Eles asseguram uma condução elétrica sem interrupções, permitindo que o motor do pivô funcione de forma constante e sem falhas, mesmo com o movimento contínuo do equipamento. Dessa forma, esses componentes não apenas garantem o bom desempenho do sistema de irrigação, mas também contribuem para a durabilidade e a eficiência do pivô central ao longo do tempo.



Figura 5. Motor 220v utilizado. Foto Antonio Eduardo

Esses componentes, integrados de maneira cuidadosa e precisa, permitem que o pivô central se mova suavemente e com precisão ao longo da área de irrigação, garantindo uma distribuição uniforme da água e maximizando a eficiência do processo de irrigação.

Foram realizadas duas etapas do projeto com o objetivo de aprimorar e aperfeiçoar sua execução e resultados. Em cada etapa foram implementadas modificações afins de verificar impactos no funcionamento do equipamento. Para cada etapa conduziu-se um ciclo de cultivo na área de estudo a fim de avaliar o comportamento do equipamento num longo período de funcionamento e com vários eventos de irrigação.

4.2. Validação de protótipo – Etapa 1

Devido ao raio de atuação curto, a proposta inicial do protótipo foi projetada com a integração de 18 micro-aspersores, marca Amanco, do tipo bailarina MF2, com diâmetro molhado de 5 metros. Os micro-aspersores foram posicionados a 1,8 m de altura e operando com uma pressão de serviço de 1,5 bar.

A taxa de irrigação de 10 mm/h significa que, a cada hora, a água será aplicada sobre a área de forma a gerar uma lâmina de 10 mm (milímetros) de altura. A lâmina de 10 mm corresponde a 10 milímetros de altura, ou seja, 0,01 m. Para calcular o volume de água correspondente a essa lâmina sobre a área de 200 m², utilizou-se a equação 1:

$$Vol = A \times L \quad (1)$$

em que:

Vol - volume de água (m³)

A – área irrigada (m²)

L – lâmina de irrigação (m)

Assim, foram necessários 2 m³ de água para irrigar 200 m² com uma lâmina de 10 mm, que representa 2.000 litros por hora (L/h).

Para proporcionar uma distribuição uniforme de água sobre a área de cultivo, os micro-aspersores foram conectados em um espaçamento fixo de 44 cm a cada dois emissores, a um tubo cego de 16 mm, fixado na estrutura superior do equipamento, que também funciona como a linha lateral do sistema de irrigação.

A fonte hídrica para atender a demanda do equipamento estava localizada em um reservatório de água com capacidade de 1000 L e reposição automática por meio de acionamento com boia instalada na superfície superior.

A água foi conduzida e pressurizada do reservatório até a linha lateral do protótipo. Uma rede adutora de polietileno com diâmetro comercial de 16 mm foi instalada a uma profundidade de 30cm e conectou a linha lateral até o sistema de bombeamento que retirava água do reservatório.

O conjunto motobomba utilizado foi da marca DANCOR com diâmetro de rotor de 99 mm e motor elétrico com potência de 1/2 cv.

4.2.1. Avaliação de uniformidade de distribuição de água

A uniformidade de distribuição de água é a principal avaliação para classificar o desempenho do protótipo. Para tal copos coletores foram distribuídos dentro da área, em dois raios, sendo o espaçamento entre coletores igual a 1,0 m, conforme a Figura 4.

Foram utilizados 14 copos coletores, 1 proveta graduada em mililitros (ml) com capacidade pra 25ml e 14 hastes de alumínio para posicionar o coletor a 60 cm da superfície do solo. Para a análise dos dados utilizou o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), conforme a equação 2.

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum Si \left| Li - \frac{\sum Li Si}{\sum Si} \right|}{\sum Li Si} \right) \quad (2)$$

em que:

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen (%)

Si – número de ordem no coletor “i”;

Li – lâmina observada no coletor “i”;

Mantovani et al. (2016) apresentam classificação do resultado de CUC sendo > 85%, alta uniformidade na distribuição de água; entre 75% e 85%, boa uniformidade, mas com possibilidade de melhorias; e < 75%, baixa uniformidade, indicando a necessidade de ajustes no sistema de irrigação.



Figura 6. Área do experimento durante a Análise de Uniformidade. Foto: Antônio Eduardo.

No dia da coleta, foram medidas as pressões que chegavam aos micro-aspersores, registrando-se um valor de 1,5 bar. O teste de uniformidade foi conduzido ao longo de 30 minutos, resultando em duas voltas completas. Às 17h do dia 15 de junho de 2020, momento em que o teste foi realizado, a velocidade do vento foi medida em 7 km/h. Esta velocidade do vento um pouco acima do permitido para realizar o teste, porem nessa área é muito comum essa velocidade

Os emissores utilizados estavam posicionados a 1,8 m do solo e foram instalados dois bocais a cada 1 metro. Esses emissores produzem um jato de água giratório com gotas pequenas, irrigando em um diâmetro de aproximadamente 3 metros. As vazões dos emissores variavam entre 37 e 211 litros por hora, conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Bocais utilizados no protótipo - Etapa 1

BOCAL	COR	VAZÃO L/H (1.5 bar)
1 e 2	Cinza	30
3 e 4	Preto	38
5 e 6	Verde Claro	44
7 e 8	Marrom	76
9 e 10	Verde Escuro	86
11 e 12	Laranja	112
13 e 14	Azul Claro	138
15 e 16	Azul Escuro	160

4.2.2. Implantação de cultivo irrigado - Feijão

Após a realização do teste de uniformidade, a área foi cultivada com feijão. Este teste desempenha um papel crucial na garantia da eficiência da irrigação, garantindo que todas as plantas recebam a quantidade apropriada de água para seu crescimento saudável.



Figura 7. Área do experimento durante o ciclo do feijoeiro. Foto: Antônio Eduardo.

O cultivo do feijão foi iniciado no dia 16 de junho de 2020 e foi colhido no dia 30 de setembro, contemplando um ciclo de 106 dias. Durante o período de cultivo, foi aplicada uma lâmina de água de 5mm por dia, monitorada de perto para garantir a adequada nutrição das plantas. Além disso, foi realizada uma comparação da produção obtida com o feijão cultivado na região, a fim de avaliar a eficácia da técnica de irrigação empregada.

Durante o desenvolvimento da cultura, foram enfrentados problemas com infestação de formigas e do inseto vaquinha na área experimental, os quais impactaram diretamente o crescimento e o desenvolvimento das plantas. A infestação de formigas foi causada principalmente por espécies como *Solenopsis invicta*, popularmente conhecidas como formigas-de-fogo, que são altamente agressivas e podem prejudicar tanto as raízes das plantas quanto o ambiente ao seu redor. Além disso, o inseto conhecido como vaquinha, identificado como *Diabrotica speciosa*, também causou danos significativos à cultura, alimentando-se das folhas.

Esses desafios demonstraram a importância de um manejo integrado de pragas, que combine estratégias de controle químico com práticas preventivas e monitoramento constante. Além disso, o controle eficiente dessas pragas é essencial para o sucesso da cultura, garantindo que as plantas se desenvolvam sem sofrer com os danos causados por esses insetos, assegurando uma colheita mais saudável e produtiva. A experiência com essas pragas reforçou a necessidade de planejar cuidadosamente o controle de pragas, além de destacar o impacto potencial que as infestações de insetos podem ter em culturas agrícolas, comprometendo a qualidade e a quantidade da produção.

4.3. Validação de protótipo – Etapa 2

A fase inicial da construção da etapa 2 do mini pivô central foi marcada pela modificação crucial da adutora. O tubo cego de 16mm foi substituído por uma tubulação de PVC de 25mm. Além disso, a profundidade da adutora foi ampliada significativamente, passando de 30cm para 1 metro. Essas alterações representam um avanço substancial na infraestrutura do projeto, garantindo maior fluxo de água e durabilidade para o sistema de irrigação.

A substituição do motor optamos pelo motor com redução de 5 RPM da marca Varivelox, conforme ilustrado na Figura 8. Este motor tem sido utilizado no protótipo até o momento presente, sem apresentar quaisquer problemas técnicos para o funcionamento contínuo e eficiente do mini pivô. O tempo de revolução do equipamento passou a ser de 13 minutos. Este é um motor mais robusto, com maior resistência e durabilidade. Ele utiliza do método de rotações fixas, não podendo variar os giros.



Figura 8. Motor 220v utilizado.

Após isso, procedemos à substituição dos emissores de água para aproximar o protótipo do modelo real de pivô central. Visando simplificar a manutenção e substituição dos emissores, optou-se pelos aspersores da marca Senninger, modelo SuperSpray, equipados com bocais UP3 conforme Tabela 2. Esses aspersores foram instalados na tubulação de diâmetro 25mm, aprimorando significativamente a eficácia e a semelhança do mini pivô com o sistema convencional.

Tabela 2. Bocais utilizados no protótipo - Etapa 2

BOCAL	COR	VAZÃO L/H (1.5 bar)
1	Azul Claro	114
2	Azul Claro	114
3	Cinza	580
4	Azul	1229

4.3.1. Avaliação de uniformidade de distribuição de água

A etapa 2 foi contemplada com 3 testes de uniformidade seguindo o mesmo protocolo de espaçamento e coleta da etapa 1 (Figura 9).



Figura 9. Área do experimento durante a análise de uniformidade.

4.3.2. Implantação de cultivo irrigado - Cebola

Na área experimental, dedicamos à preparação do solo, garantindo condições ideais para a formação dos canteiros destinados ao plantio da cebola (figura 10). O processo envolveu a remoção de detritos, nivelamento e adição de compostos orgânicos para melhorar a fertilidade e estrutura do solo.



Figura 10. Início de preparação do solo. Foto: Antônio Eduardo.

A cebola foi semeada no dia 16 de março de 2021 (Figura 11), marcando o início de um ciclo de cultivo que se estendeu até 27 de julho do mesmo ano, totalizando 133 dias. Durante esse período, adotamos uma estratégia de irrigação por turno, aplicando uma lâmina de água consistente de 20mm a cada 3 dias. Essa frequência foi escolhida com base nas necessidades hídricas específicas da cebola, uma cultura conhecida por sua alta demanda por água para um crescimento saudável e uma boa formação dos bulbos.



Figura 11. Plantio da cebola em canteiros. Foto: Antônio Eduardo

Um dos desafios mais significativos que enfrentamos ao longo do ciclo de cultivo foi o controle de plantas daninhas. Devido à natureza aberta dos canteiros e à alta umidade proporcionada pelo sistema de irrigação, as plantas daninhas proliferaram rapidamente. Para mitigar esse problema, implementamos uma estratégia de controle integrado de pragas e doenças, que incluiu a aplicação regular de herbicidas seletivos e métodos mecânicos de remoção de ervas daninhas. Essa abordagem exigiu um monitoramento contínuo e intervenções oportunas, mas ajudou a manter as plantas de cebola livres de competição por recursos e garantir seu crescimento saudável.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Etapa 1

5.1.1. Teste de uniformidade de distribuição de água

Em todos os testes foram verificadas as pressões de funcionamento e pressão dos emissores (Figura 12) sendo igual a 1,5 bar. Devido ao regulador de pressão de 10psi o sistema trabalhou com 1,5 bar por conta da válvula que serve como retenção.



Figura 12. Coleta de dados de Uniformidade. Foto: Antônio Eduardo

Dados coletados em campo para a realização do teste de uniformidade referente a etapa 1 (Tabela 3).

Tabela 3. Dados coletados em campo – Teste 1 – Etapa 1.

Posição/Repetição	Volume	Unidade	Posição/Repetição	Volume	Unidade
1(a)	12,0	ml	1(b)	12,0	ml
2(a)	15,0	ml	2(b)	12,0	ml
3(a)	10,0	ml	3(b)	11,0	ml
4(a)	11,0	ml	4(b)	13,0	ml
5(a)	10,0	ml	5(b)	11,0	ml
6(a)	9,0	ml	6(b)	10,0	ml
7(a)	6,0	ml	7(b)	6,0	ml

O teste de uniformidade realizado com os microaspersores, utilizando as fórmulas de CUC, revelou um resultado de 81,6% de uniformidade na distribuição de água. Esse valor reflete uma distribuição relativamente consistente, indicando que a maior parte da área irrigada recebe uma quantidade semelhante de água. No entanto, ainda há margem para melhoria, pois um resultado próximo a 100% representaria uma distribuição idealmente uniforme.

Esse resultado sugere áreas que podem ser ajustadas ou otimizadas para alcançar uma distribuição ainda mais equitativa, garantindo uma irrigação mais eficiente e maximizando o uso dos recursos hídricos disponíveis.

5.1.2. Ciclo de cultivo na área irrigada – Etapa 1

O cultivo de feijão resultou em uma produção de 50 kg na área de 200 m². A produção estimada para 1 hectare seria de 2.500 kg, conforme a Figura 13.



Figura 13. Colheita do feijão. Foto: Antônio Eduardo.

A instalação da adutora impôs desafios significativos que afetaram sua operação. A profundidade inadequada da adutora resultou em transtornos para as atividades com maquinário dentro da área, dificultando sua eficácia e gerando preocupações operacionais. Além disso, a tubulação dimensionada inicialmente não foi adequada para transportar a demanda de água do experimento na pressão de trabalho dos emissores, causando redução no fluxo e pressão.

A fixação dos micro-aspersores também se revelou problemática, resultando em fissuras e vazamentos ao longo da tubulação. Essas falhas comprometeram ainda mais o desempenho do sistema e contribuíram para uma perda significativa de carga.

Além dos problemas de fixação, o motor designado para o movimento do equipamento acabou sendo subdimensionado. Embora sua rotação tenha sido adequada, ele não conseguiu suportar o peso de rodagem, resultando em sobrecarga e possíveis danos ao motor.

Essas dificuldades destacam a importância de uma análise cuidadosa e um planejamento detalhado durante a instalação de sistemas como esse. É essencial considerar não apenas a demanda de água e a capacidade dos equipamentos, mas também a resistência e a durabilidade de cada componente para garantir o funcionamento adequado e eficiente do sistema e a necessidade de um time de trabalho engajado (Figura 14).

5.2 Etapa 2

5.2.1. Teste de uniformidade de distribuição de água

Na Tabela 2 apresenta-se os dados coletados em campo para a realização do primeiro teste de uniformidade referente a etapa 2, conforme a Figura 14.



Figura 14. Coleta de dados de Uniformidade. Foto: Antônio Eduardo

Tabela 4. Dados coletados em campo – Teste 1 – Etapa 2.

Posição/Repetição	Volume	Unidade	Posição/Repetição	Volume	Unidade
1(a)	10,5	ml	1(b)	11,5	ml
2(a)	11,0	ml	2(b)	10,0	ml
3(a)	10,0	ml	3(b)	11,5	ml
4(a)	12,0	ml	4(b)	12,5	ml
5(a)	10,5	ml	5(b)	9,8	ml
6(a)	10,2	ml	6(b)	9,8	ml
7(a)	10,0	ml	7(b)	10,5	ml

O primeiro teste realizado com os novos emissores de água resultou em uma uniformidade de 92,6%. Esse resultado é excelente, demonstrando a eficácia e a precisão dos novos aspersores, além da qualidade do sistema de irrigação como um todo. A Velocidade do vento para o primeiro teste foi de 7km/h.

Na Tabela 5 apresenta-se os dados coletados em campo para a realização do segundo teste de uniformidade referente a etapa 2.

Tabela 5. Dados coletados em campo – Teste 2 – Etapa 2.

Posição/Repetição	Volume	Unidade	Posição/Repetição	Volume	Unidade
1(a)	12,0	ml	1(b)	10,5	ml
2(a)	11,5	ml	2(b)	11,0	ml
3(a)	10,8	ml	3(b)	12,5	ml
4(a)	11,0	ml	4(b)	10,0	ml
5(a)	11,2	ml	5(b)	10,1	ml
6(a)	9,9	ml	6(b)	9,7	ml
7(a)	9,8	ml	7(b)	9,8	ml

A uniformidade do segundo teste aumentou para 93,3%, conforme dados da Tabela 5. Na Tabela 6 apresenta-se os dados coletados em campo para a realização do terceiro teste de uniformidade referente a etapa 2. A velocidade do vento para o teste 2 foi de 6km/h.

Tabela 6. Dados coletados em campo – Teste 3 – Etapa 2.

Posição/Repetição	Volume	Unidade	Posição/Repetição	Volume	Unidade
1(a)	12,0	ml	1(b)	14,0	ml
2(a)	13,0	ml	2(b)	12,0	ml
3(a)	10,0	ml	3(b)	10,5	ml
4(a)	11,0	ml	4(b)	13,5	ml
5(a)	9,0	ml	5(b)	9,0	ml
6(a)	9,5	ml	6(b)	12,0	ml
7(a)	8,0	ml	7(b)	8,0	ml

No teste 3, observamos uma redução na uniformidade, calculada em 84,2%. Durante o teste, foi registrada uma velocidade do vento relativamente alta, atingindo 12km/h. Essa condição climática pode ter impactado negativamente na distribuição da água pelos aspersores, resultando na diminuição da uniformidade. Com o vento nessas condições, não é correto fazer o teste.

5.2.2. Ciclo de cultivo na área irrigada – Etapa 2

Apesar dos desafios enfrentados, a produção de cebola na área experimental foi excepcional. Ao final do ciclo de cultivo, colhemos um total de 520 kg de cebola em uma área de 200 m². Esse resultado não apenas apoia a eficácia do sistema de irrigação e do manejo adotado, mas também destaca o potencial produtivo da cebola sob condições controladas e bem gerenciadas (Figura 15). A produção estimada por hectare seria de 26.000 kg.

De acordo com os dados do IBGE, a produção média de cebola no país é de 33.226 kg por hectare. Esse valor reflete a capacidade das áreas cultivadas de gerar uma quantidade considerável de cebolas, evidenciando o Brasil como um dos principais produtores desse vegetal no mercado global. A produtividade pode variar de acordo com fatores como clima, técnicas de cultivo, manejo agrícola e infraestrutura, mas esse dado oferece uma visão geral da eficiência da produção brasileira, que abastece tanto o mercado interno quanto exportações.



Figura 15. Área do experimento realizado com cebola. Foto: Antônio Eduardo.

5.3. Impacto acadêmico e educacional

A eficácia do protótipo demonstrada pelos testes de uniformidade e os ciclos de cultivo bem-sucedidos reforça o potencial da integração entre teoria e prática no ensino superior.

A construção e validação do protótipo permitiram que os estudantes envolvidos tivessem contato direto com diversas etapas do processo, como planejamento, montagem, execução e avaliação de sistemas de irrigação. Isso proporcionou uma experiência prática significativa, que dificilmente seria alcançada apenas com aulas teóricas. Além disso, a utilização de ferramentas/software e a incorporação de tecnologias, agregou conhecimentos modernos e alinhados às demandas do mercado.

O projeto destacou-se por promover o aprendizado baseado em problemas reais, permitindo que os estudantes desenvolvessem competências essenciais, como resolução de problemas, trabalho em equipe e gestão de projetos. A participação ativa dos discentes nas

modificações e melhorias do protótipo reforçou a importância da análise crítica e da tomada de decisão baseada em dados experimentais.

Além de seus benefícios diretos no ambiente acadêmico, o projeto abre caminhos para futuras inovações. O protótipo pode ser adaptado para estudos avançados, como o uso de sistemas de automação, integração com sensores climáticos e análises remotas de eficiência hídrica. Isso posiciona o projeto como uma base para o desenvolvimento de tecnologias inovadoras e sustentáveis no campo da irrigação.

Os alunos que entrarem em contato com o protótipo de pivô central terão a oportunidade de vivenciar o manuseio prático do equipamento, o que proporcionará uma compreensão mais aprofundada de seu funcionamento e operação. Durante o processo de aprendizado, poderão realizar testes com diferentes culturas irrigadas por aspersão, observando a eficiência da distribuição de água e os efeitos no crescimento das plantas. Além disso, terão a chance de executar testes de validação do equipamento, verificando a precisão da irrigação, ajustando parâmetros e identificando possíveis melhorias. Esse contato direto com a tecnologia enriquecerá a formação dos alunos, preparando-os para enfrentar os desafios do campo e da pesquisa aplicada à irrigação.

5.4. Sugestões para trabalhos futuros

De acordo com o desenvolvimento do protótipo do mini pivô central, algumas sugestões foram levantadas para os próximos alunos que continuarão o projeto. Entre as principais sugestões, destaca-se a realização de novos testes de uniformidade, utilizando a mesma metodologia aplicada nos campos de pivô central real. Esses testes devem ser feitos com a distribuição dos copos em formato de "V", que é característica desse tipo de equipamento, garantindo que o teste seja realizado com uma única passagem do pivô, tal como acontece no campo. Outra sugestão importante é a medição da pressão de trabalho no meio do equipamento, um passo essencial para avaliar o desempenho do sistema de irrigação e garantir sua eficiência. Além disso, recomenda-se a realização de testes de uniformidade utilizando os copos coletores diretamente no chão, com o objetivo de comparar os resultados obtidos com os copos em relação às hastes de metal, verificando possíveis diferenças na distribuição da água e na precisão do sistema. Essas ações serão fundamentais para aprimorar o protótipo, permitindo avanços no projeto e fornecendo uma base sólida para os futuros trabalhos na área de irrigação.

6. CONCLUSÕES

O protótipo de pivô central em escala reduzida demonstrou uma eficácia técnica impressionante, atingindo índices de uniformidade de até 93,3%, o que comprova sua capacidade de simular com precisão os sistemas de irrigação mecanizada utilizados em grandes propriedades agrícolas. Esse desempenho destaca o potencial do protótipo como uma ferramenta didática valiosa, capaz de fornecer uma experiência prática robusta aos estudantes, que podem observar diretamente os resultados da irrigação em uma escala reduzida.

Os testes realizados com o protótipo foram essenciais para validar sua eficácia. No primeiro teste, o índice de uniformidade alcançado foi de 81,6%, e no segundo teste o valor subiu para 92,6%, o que demonstrou uma clara evolução no desempenho do sistema. Esse progresso reflete a capacidade do protótipo de ser ajustado e melhorado ao longo do tempo, permitindo aos alunos entender a importância de testar e validar sistemas de irrigação antes de sua implementação em larga escala. A faixa de uniformidade considerada excelente para esse tipo de sistema varia entre 85% e 100%.

Além dos avanços técnicos, o projeto contribuiu significativamente para minha formação pessoal e profissional. Através das demonstrações práticas em campo, pude não apenas aprender sobre o funcionamento do sistema de irrigação, mas também vivenciar o processo de tomada de decisões, ajustes e otimização do sistema. O projeto me ensinou sobre a importância do trabalho em equipe, pois o sucesso de uma tarefa tão complexa depende da colaboração entre todos os envolvidos. A experiência também me proporcionou valiosos ensinamentos sobre liderança, já que foi necessário coordenar atividades, dividir responsabilidades e lidar com os desafios de forma eficiente. Essas experiências são essenciais para minha futura carreira profissional, pois além de aprofundar meu conhecimento técnico sobre irrigação, desenvolvi habilidades interpessoais e de gestão que serão fundamentais para meu crescimento no campo da engenharia agrícola e em outras áreas da engenharia.

REFERÊNCIAS

- ANA. Atlas Irrigação: **Uso da Água na Agricultura Irrigada**. Brasília: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico, 2021.
- Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Minas Gerais (CREA-MG). Atribuições do Engenheiro Agrônomo. Disponível em: <https://www.crea-mg.org.br/>. Acesso em: 20 out. 2024.
- CUNHA, Dênis Antônio da et al. Irrigação como estratégia de adaptação de pequenos agricultores às mudanças climáticas: aspectos econômicos. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 51, n. 2, p. 369-386, 2013.
- EMBRAPA. **Crescimento da Irrigação no Brasil: Desafios e Oportunidades**. Brasília: Embrapa, 2015.
- FERREIRA, L. L.; SOUZA, R. M.; ALMEIDA, A. S. **Sistemas de irrigação: tecnologia e sustentabilidade**. Rio de Janeiro: Editora Ciência Agrária, 2020.
- GAVA, Ricardo et al. **Different soybean plant populations under central pivot irrigation**. *Engenharia Agrícola*, v. 37, n. 3, p. 441-452, 2017.
- JUSTINO, L. F. et al. Assessment of economic returns by using a central pivot system to irrigate common beans during the rainfed season in Central Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 224, p. 105749, 2019.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: American Society of Agricultural Engineers, 1990.
- LIMA, R. M.; SANTOS, J. S.; OLIVEIRA, G. B. Protótipos de irrigação: aplicações didáticas e tecnológicas. **Revista Brasileira de Ensino de Engenharia Agrícola**, v. 42, n. 1, p. 33-45, 2019.
- LOPES, A. F.; COSTA, S. H.; SILVA, G. A. Tecnologias emergentes no ensino de ciências agrárias: o papel dos protótipos e sensores de irrigação. **Revista de Educação e Tecnologia**, v. 23, n. 4, p. 112-128, 2018.
- MEDEIROS, P. F.; SILVA, L. M.; OLIVEIRA, D. S. Avaliação de sistemas de irrigação em escala reduzida no ensino universitário. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 5, p. 674-682, 2021.
- MORAES, Maria J. et al. Automation on central pivot irrigation system to energy savings. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 6, p. 1075-1088, 2014.
- MORENO, M. A. et al. Energy efficiency of pressurised irrigation networks managed on-demand and under a rotation schedule. **Biosystems Engineering**, v. 107, n. 4, p. 349-363, 2010.

- OLIVEIRA FILHO, Delly et al. Metodologia de diagnóstico energético em estação de captação de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 10, p. 1097-1103, 2011.
- PEREIRA, Vitor Gabriel Marinho de Faria et al. Irrigação e fertirrigação no desenvolvimento de eucalipto. **Ciência Florestal**, v. 29, p. 1100-1114, 2019.
- RIBEIRO, M. C. **Eficientização e gerenciamento do uso de energia elétrica em perímetros irrigados**. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.
- SANTOS, Cristina et al. Performance assessment of an irrigation scheme using indicators determined with remote sensing techniques. **Irrigation Science**, v. 28, n. 6, p. 461-477, 2010.
- SILVA, R. P.; OLIVEIRA, A. D. Práticas didáticas no ensino de irrigação: desenvolvimento de protótipos para o ensino de engenharia agrícola. **Engenharia Agrícola**, v. 39, n. 6, p. 732-744, 2019.
- VIEIRA, G. H. S. et al. Custo da irrigação do cafeeiro em diferentes tipos de equipamento e tamanhos de área. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 19, n. 1, p. 53-61, 2011.