UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

LUCAS OLIVEIRA DOS SANTOS

# UNIFORMIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA DE ASPERSÃO LINEAR MOVÉL E AUTOPROPELIDO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS

Rio Largo (AL)
2023

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CAMPUS DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE AGRONOMIA

# UNIFORMIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA DE ASPERSÃO LINEAR MOVÉL E AUTOPROPELIDO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

**ORIENTADOR (A): Dr.: GUILHERME BASTOS LYRA**

Rio Largo (AL)
2023

**Catalogação na Fonte**
**Universidade Federal de Alagoas**
**Biblioteca Campus de Engenharias e Ciências Agrárias**
Bibliotecário Responsável: Erisson Rodrigues de Santana - CRB4 - 1512

S237u Santos, Lucas Oliveira dos.

Uniformidade e distribuição de água em sistema de aspersão linear movél e autopropelido na cultura da cana-de-açúcar em Alagoas. / Lucas Oliveira dos Santos. – 2023.

61f.: il.

Orientador(a): Guilherme Bastos Lyra.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) – Graduação em Agronomia, Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, Universidade Federal de Alagoas. Rio Largo, 2023.

Inclui bibliografia

1. Irrigação. 2. Eficiência no uso da água. 3. *Saccharum officinarum*. I. Título.

CDU: 631.67:633.61(813.5)

AUTOR: LUCAS OLIVEIRA DOS SANTOS

# UNIFORMIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA DE ASPERSÃO LINEAR MOVÉL E AUTOPROPELIDO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Campus de Engenharias e Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas, como parte das exigências para a obtenção do título de Engenheiro Agrônomo.

Documento assinado digitalmente
gov.br
GUILHERME BASTOS LYRA
Data: 15/08/2023 11:38:23-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Prof. Dr. Guilherme Bastos Lyra
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
gov.br
JOSE WANDERSON SILVA DOS SANTOS
Data: 15/08/2023 10:43:59-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

M S.c. José Wanderson Silva dos Santos
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA
(Examinador)

Documento assinado digitalmente
gov.br
TIAGO AMARAL
Data: 15/08/2023 11:02:18-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

M S.c. Tiago Amaral
Universidade Federal de Alagoas – UFAL
Campus de Engenharias e Ciências Agrárias - CECA
(Examinador)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**
**CAMPUS DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**
**CURSO DE AGRONOMIA**
**COORDENAÇÃO DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

# ATA DE REUNIÃO DE BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos dez (10) dias do mês de agosto do ano de 2023, a Banca Examinadora de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) constituída pelos Professores: Dr. GUILHERME BASTOS LYRA, CECA/UFAL (orientador); MSc. JOSÉ WANDERSON SILVA DOS SANTOS, CECA/UFAL e MSc. TIAGO AMARAL, CECA/UFAL, sob a Presidência do Professor Guilherme Bastos Lyra, emitiram pareceres relativos ao TCC intitulado **"UNIFORMIDADE E DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM SISTEMA DE ASPERSÃO LINEAR MOVÉL E AUTOPROPELIDO NA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR EM ALAGOAS",** do aluno **LUCAS OLIVEIRA DOS SANTOS**, sob matrícula **17112931**, requisito obrigatório para conclusão do Curso de Agronomia. Esses pareceres que ficaram anexados à pasta do aluno, tem como resultado as notas e resultado: Prof. Dr. GUILHERME BASTOS LYRA, nota **(9,5)**, MS.c. JOSÉ WANDEROSN SILVA DOS SANTOS, nota (**9,5)** e MS.c. TIAGO AMARAL, nota (**9,5)**. Apuradas as notas, o candidato foi considerado **APROVADO**, com média geral **(9,5)**. Na oportunidade o candidato foi notificado do prazo de máximo de 30 (trinta) dias, a partir desta data, para entregar a Coordenação do Trabalho de Conclusão de Curso, devidamente protocolada, da versão definitiva do trabalho defendido, em 4 (quatro) vias, impressas e encadernadas e uma cópia digitalizada em CD com as correções sugeridas pela Banca, sem o que esta avaliação se tornará sem efeito, passando o aluno a ser considerado reprovado. Nada mais havendo a tratar, os trabalhos foram encerrados para a lavratura da presente ATA, que depois de lida e achada conforme, vai assinada por todos os membros da Banca Examinadora, pelo coordenador (a) do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) e pelo coordenador (a) do Curso de Agronomia do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Alagoas.

Rio Largo/AL, 10 de agosto de 2023.

Documento assinado digitalmente
GUILHERME BASTOS LYRA
Data: 15/08/2023 11:38:23-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

1ºExaminador _____

Prof. Dr. GUILHERME BASTOS LYRA (Orientador)

Documento assinado digitalmente
JOSE WANDERSON SILVA DOS SANTOS
Data: 15/08/2023 10:43:59-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

2ºExaminador _____

MSc. JOSÉ WANDERSON SILVA DOS SANTOS

Documento assinado digitalmente
TIAGO AMARAL
Data: 15/08/2023 11:02:18-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

3ºExaminador _____

MSc. TIAGO AMRAL

Documento assinado digitalmente
REINALDO DE ALENCAR PAES
Data: 15/08/2023 11:46:24-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Coordenador do TCC _____

Prof. Dr. REINALDO DE ALENCAR PAES

Documento assinado digitalmente
MARIANA OLIVEIRA BREDA
Data: 15/08/2023 13:43:40-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

Coordenador do Curso de Agronomia_____

Prof. Dra. MARIANA OLIVEIRA BREDA

## AGRADECIMENTO

Aos meus pais e irmãos, por todo amor e carinho durante minha trajetória de vida e educação;

Ao mestre Luiz Carlos jatobá Tenório filho, pôr o incentivo durante a graduação;

Ao meu orientador, professor Dr. Guilherme Bastos Lyra, por todos os ensinamentos, conselhos, confiança e amizade durante a graduação, pelos ensinamentos e conselhos;

Aos professores do LIA: Ricardo Araújo, Marcos Alex, André Carvalho, Gustavo Lyra, Ivomberg Dourado, Iêdo Teodoro, Alexsandro Almeida, Adolpho, agradeço pelas orientações e incentivos;

Ao corpo docente do Campus de Engenharias e Ciências Agrárias, pelas contribuições na minha formação;

Aos colegas e amigos de laboratório: Iêdo Peroba, Jose Wanderson, Marcos Antônio, José Antônio, Larissa, Gustavo Silva, Saniel Carlos, pela boa convivência, ajuda e amizade;

Ao Grupo Luiz jatobá, pôr a conciliação entre o trabalho e a faculdade, e por todo apoio durante a trajetória, e toda equipe técnica do grupo que de qualquer forma contribuíram;

Aos estagiários do IFAL Satuba, Emily Quintela e Erivelto Alves por ajudarem durante a coleta dos dados a campo;

A meus amigos de turma, Gilmar Batinga, Jair Quintela, Jerônimo Lessa, Cleiton Andrade pela amizade e convivência;

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão deste trabalho e acreditaram no meu empenho.

**MUITO OBRIGADO!**

EPÍGRAFE

“Não creio que haja uma emoção, mais intensa para um inventor do que ver suas criações funcionando. Essa emoção faz você esquecer de comer, de dormir, de tudo”

Nikola Tesla

## RESUMO

Com a alta competitividade do setor agrícola, cada vez se torna mais necessário o uso da irrigação para tornar as práticas de cultivo rentáveis. Os sistemas de irrigação apresentam uma vida útil elevada, logo, deve-se considerar os custos de energia e manutenção dos equipamentos, busca-se identificar, através de coeficientes de uniformidade, possíveis problemas na aplicação de água nos sistemas de irrigação. Assim, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a uniformidade e distribuição de água e a eficiência da lâmina coletada, no sistema de aspersão linear e autopropelido em cana-de-açúcar, no município de São Miguel dos Campos - AL, visando otimizar o desempenho dos sistemas, foram avaliados dois tipos de coeficientes de uniformidade, os mais conhecidos e utilizados na literatura, que são: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD). Com base nos levantamentos de campo, o sistema de aspersão linear apresentou CUC (89,19%) e CUD (81,19%) considerados como bom. Quanto ao sistema autopropelido, resultou em 82,21 e 78,52% de CUC e CUD, respectivamente, e foi considerado bom. Deste modo foi possível apresentar ao produtor, desta área, quais são as condições de funcionamento de seu sistema de irrigação, e que ele possa tomar as medidas necessárias para aumentar a porcentagem de eficiência em seu sistema.



**Palavras-Chave:** Irrigação, eficiência no uso da água, *Saccharum officinarum*.

## ABSTRACT

With the high competitiveness of the agricultural sector, the use of irrigation becomes increasingly necessary to make profitable cultivation practices. Irrigation systems have a long useful life; therefore, energy costs and equipment maintenance must be considered, seeking to identify, through uniformity coefficients, possible problems in the application of water in irrigation systems. Thus, the objective of the present work was to evaluate the uniformity and distribution of water and the efficiency of the collected blade, in the sprinkler system by Linear and Self-Propelled in sugar cane, in the municipality of São Miguel Dos Campos - AL, aiming to optimize the performance of the systems, two types of uniformity coefficients were evaluated, the most known and used in the literature, which are: Christiansen Uniformity Coefficient (CUC), Distribution Uniformity Coefficient (CUD); Based on field surveys, the study for the linear presented CUC and CUD, with 89.19 and 81.19% respectively considered as good; as for the self-propelled one, it presented CUC and CUD being 82.21% and 78.52% respectively considered as good. In this way, it was possible to present to the producer, in this area, what are the operating conditions of his irrigation system, so that he can take the necessary measures to increase the percentage of efficiency in his system.



**Key words:** Irrigation, water use efficiency, Saccharum officinarum.

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Evolução das últimas seis safras de cana-de-açúcar, comparando o sequeiro e a área irrigada no grupo Luiz Jatobá, em São Miguel dos Campos, Alagoas.

**Figura 2.** Autopropelido em processo de transporte.

**Figura 3.** Área de coleta dos dados.

**Figura 4.** Mapa da fazenda Carobas, apresentando toda a parte de georreferenciamento dos talhões.

**Figura 5.** O mapa abaixo apresenta a sequência de mudanças a serem realizadas durante a operação do linear.

**Figura 6.** Informações técnicas do comprimento do linear, e faixa irrigada.

**Figura 7.** Sistema de bombeamento em série

**Figura 8,9.** Emissores I-wob com reguladores de pressão de 10 PSI ou 0,69 BAR, com bocais de distribuição de 22 mm (B) e 22,5 mm (A).

**Figura 10.** Sistema linear em operação.

**Figura 11.** Bomba centrifuga de alta pressão KSB WKL 100/5 estágio (A), chave automática compensadora (B).

**Figura 12.** Raio de 78 metros de alcance, com 5kgf/cm² na saída do aspersor (A), autopropelido em operação durante recolhimento da mangueira.

**Figura 13.** Recomendação de precipitação do equipamento, com o Aspersor Gemini 4".

**Figura 14.** Pressão na Saída da bomba (A), Entrada do Carretel (B), saída do Aspersor (C).

**Figura 15.** Proveta para coleta da lâmina aplicada (A), manômetro para aferição da pressão em cada lance (B).

**Figura 16.** Instalação dos coletores em campo (A), alinhados no ponto (B); para a coleta da lâmina aplicada.

**Figura 17.** Aferição da pressão na saída da bomba com 125 MCA (A), aferição na entrada do Linear com 20 MCA (B).

**Figura 18.** Avaliação de uniformidade do sistema linear por cada lance médio.

**Figura 19.** Lâmina coletadas em campo.

**Figura 20.** Aferição da pressão em cada lance (kgf/cm²).

**Figura 21.** Avaliação da pressão nos lances do sistema linear (A), montagem do manômetro antes da válvula reguladora (B).

**Figura 22.** Lâmina coletada aos 350 metros de comprimento.

**Figura 23.** Lâmina coletada aos 250 metros de comprimento.

**Figura 24.** Lâmina coletada aos 150 metros de comprimento.

**Figura 25.** Lâmina coletada aos 50 metros de comprimento.

**Figura 26.** Lâmina média coletada ao longo dos 400 metros.

**Figura 27.** Resultados do CUC obtidos no levantamento do sistema autopropelido.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**CUC –** Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

**CUD –** Coeficiente de Uniformidade de Distribuição

**Ea –** Eficiência de Aplicação

**Cm –** Centímetros

**Ha –** Hectares

**BAR –** Unidade de pressão e equivale a exatamente 100.000 pascais ($10^5$ Pa)

**PSI –** Libra por polegada quadrada

**MCA –** Metros coluna de água

**ANA –** Agência Nacional de Águas

**IBGE –** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

**ABNT –** Associação Brasileira de Normas Técnicas

**NBR –** Norma Brasileira Regulamentadora

## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1 –** Demanda hídrica durante o ciclo ou ano, para as culturas (BERNARDO et al., 2009)

**Tabela 2 –** Dados técnicos do equipamento linear.

**Tabela 3 –** Dados técnicos do sistema de bombeamento em série.

**Tabela 4 -** Mapa dos bocais do sistema linear por lances, e com as válvulas reguladoras de pressão.

**Tabela 5 -** Dados técnicos do sistema de aspersão autopropelido.

**Tabela 6 -** Recomendação de precipitação do equipamento, com o Aspersor Gemini 4".

**Tabela 7 -** Coeficiente de Uniformidade

**Tabela 8** - Pressão de entrada, pressão de saída e pressão do bombeamento do sistema linear.

**Tabela 9 –** Resultados do CUC e CUD obtidos pelo sistema linear.

**Tabela 10 –** Lâminas médias obtidas a cada lance do sistema linear.

**Tabela 11.** Resultados do CUC e CUD obtidos pelo sistema de aspersão autopropelido.

**SUMÁRIO**


**1. INTRODUÇÃO** **4**

**2. REVISÃO DE LITERATURA** **6**

2.1 Potencial hidrológico brasileiro 6

2.2 Expansão da agricultura irrigada brasileira com novas tecnologias 6

2.3 Produtividade de sistemas irrigados 7

2.4 Sistema de aspersão linear 9

2.5 Sistema de aspersão autopropelido 11

2.6 Água facilmente disponível para as plantas 12

2.7 Perdas de água na irrigação 13

2.8 Avaliação do sistema de irrigação 15

**3. OBJETIVOS** **16**

3.1 Gerais 16

3.2 Específicos 16

**4. MATERIAL E MÉTODOS** **17**

4.1 Localização do ensaio do sistema de aspersão linear 17

4.2 Caracterização do sistema de irrigação por aspersão linear 19

4.3 Características do bombeamento para o sistema de aspersão linear 22

4.4 Características e distribuição dos aspersores 23

4.5 Localização do ensaio do sistema de aspersão por autopropelido 29

4.6 Características do bombeamento para o sistema de aspersão por autopropelido 30

4.7 Metodologia aplicada no ensaio 34

4.8 Coeficientes matemáticos utilizados 35

**5. RESULTADOS E DISCUSSÃO** **38**

5.1 Resultados obtidos pelo sistema linear 38

5.2 Resultados obtidos pelo sistema de aspersão autopropelido 43

**6. CONCLUSÃO 50**

**7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 51**

## 1. INTRODUÇÃO

O principal fator limitante da produtividade agrícola da cana-de-açúcar no estado de Alagoas, bem como em outros estados do Brasil é o regime de precipitação pluvial, devido á irregularidade e má distribuição das chuvas durante os meses do ano, normalmente concentradas nos meses de abril e agosto. No período de setembro a março acontece o maior déficit hídrico para a cultura, e consequentemente a redução gradual na produtividade e uma diminuição na longevidade dos canaviais (GOMES e BAJAY, 2017).

A irrigação é uma prática agrícola que tem como finalidade disponibilizar o fornecimento de água necessária para suprir a necessidade hídrica da planta em todo o seu processo fisiológico. A água é um componente essencial para o desenvolvimento das culturas, por isso, é importante acompanhar todo o seu processo de fornecimento durante o ciclo da cultura. O manejo adequado dos recursos hídricos é fundamental para otimizar a eficiência no uso da água e evitar desperdícios. Isso exige conhecimentos técnicos adequados do efeito da irrigação sobre a cultura em suas diversas condições, clima, solo, ciclo vegetativo. Constitui-se numa atividade atualmente imprescindível para qualquer agricultura rentável, em quase todas as regiões e climas do nosso planeta (GOMES, 1994).

Na cultura da cana-de-açúcar, um dos sistemas mais utilizados para irrigação é a aspersão. Esse sistema visa distribuir água sobre a superfície do solo, de modo a permitir a sua infiltração sem escoamento superficial. Além disso, é fundamental que a água seja distribuída de forma uniforme, garantindo assim uma adequada uniformidade de aplicação em campo. Contudo, diversos fatores podem afetar o nível de uniformidade na distribuição da água, como o espaçamento entre os aspersores, a velocidade e direção do vento, a pressão de operação dos aspersores e a velocidade e uniformidade de rotação deles. Essas variáveis devem ser cuidadosamente consideradas para assegurar uma irrigação eficiente e bem-sucedida (CHRISTIANSEN, 1941).

O aumento da produção agrícola está diretamente relacionado com a utilização de sistemas de irrigação eficientes, que garante o retorno do investimento aplicado pelo produtor, pois permite o melhor aproveitamento da lâmina aplicada, visando o maior aproveitamento da cultura em questão de renovação do canavial.

Um bom sistema de irrigação por aspersão por autopropelido ou deslocamento Linear móvel e pivotante, deve distribuir água uniformemente, até determinada profundidade radicular de cada cultura visando maior absorção de água pela planta, proporcionando

umidade necessária ao desenvolvimento das espécies vegetais. As medidas de uniformidade expressam a variabilidade econômica da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo. Uma maneira usual de obtê-las é por meio de medidas de dispersão, expressando a forma adimensional, pela comparação com o valor médio da lâmina aplicada (FRIZZONE, 1992).

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o desempenho dos sistemas de irrigação por aspersão linear móvel e autopropelido, na cultura da cana-de-açúcar no município de São Miguel dos Campos, Alagoas.

# 2. REVISÃO DE LITERATURA

## 2.1 Potencial hidrológico brasileiro

O Nordeste brasileiro vem aumentando constantemente a sua expansão em área irrigada, com a finalidade de aumentar a sua produção na mesma área. Além de buscar o controle na hora do plantio e colheita, sustentabilidade, sanidade, longevidade dos cultivos de cana-de-açúcar. O Brasil possui cerca de 12% da disponibilidade mundial dos recursos hídricos, valor que pode chegar até 18% se considerado as vazões das bacias estrangeiras que entram no país, o que representa 267000 $m^3$ $s^{-1}$ (MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL, 2008). São 200 mil microbacias distribuídas em 12 regiões geográficas, dentre elas a Bacia do São Francisco que corta o Nordeste do Brasil atendendo algumas culturas ao seu entorno; já a Bacia do Paraná e a Bacia Amazônica é considerada a maior bacia do mundo, onde 60% são pertencentes ao território brasileiro.

A agricultura é uma atividade altamente dependente das condições meteorológicas, que pode impactar diretamente na produção da cultura. Grande parte das variações observadas nas produtividades das culturas acomete diferentes regiões do Brasil, porque não acontece a distribuição de chuva uniforme durante todo o ano, o que pode levar na diminuição da produção dessas áreas, sem um plano de irrigação existente (ALVIM, 1960; SCHUCH e FUCHIGAMI, 1992).

Para Mantovani, Neto e Paolinelli (2022), é necessário planejar a área de produção antes de implantar qualquer cultura na área, pois quando esses riscos estão relacionados ao déficit hídrico que ocorre ao longo do ciclo das culturas, a irrigação passa a ser uma operação de grande importância para a estabilização das produtividades, longevidade e a entrega de um produto com qualidade, um fator decisivo para a segurança alimentar no mundo. Apesar da irrigação ser uma prática agrícola que tem por objetivo reduzir os impactos do déficit hídrico nas culturas quando bem manejada e o com o dimensionamento correto do projeto, o produtor pode obter um bom retorno.

## 2.2 Expansão da agricultura irrigada brasileira com novas tecnologias

Atualmente no Brasil, em função da disponibilidade de terras férteis existentes, a visão empresarial agrícola está voltada para o investimento em plantios de sequeiro. Somado a esse fator, os entraves burocráticos (outorgas do uso da água e licenciamento ambiental) sendo liberado de acordo com os recursos hídricos disponíveis na área, mais a taxas de financiamento que tem melhorado constantemente através de bancos existentes nas próprias empresas de venda (COELHO, 2007).

A cultura da cana-de-açúcar deve ser classificada em uma categoria a parte, pois atualmente com os seus 6,1 milhões de hectare irrigados, houve um acréscimo de 40% da área irrigada em relação ao período de 2006 a 2014 no Brasil (ANA, 2014); e nos próximos anos tem-se uma perspectiva de ampliação para 12 milhões de hectares na área total de cana-de-açúcar no país. Novas regiões de expansão da cultura, no oeste do Estado de São Paulo e centro-oeste do Brasil, poderão impulsar a implementação da irrigação em maior escala nessa cultura, a fim de amenizar o déficit hídrico mais severo durante o ano (COELHO, 2007).

A irrigação de precisão engloba todas as tecnologias da agricultura de precisão em regime de sequeiro, mais a aplicação de irrigação em taxa variável no campo, como sensores para avaliar a umidade de solo, estações meteorológicas com a função de enviar dados reais da previsão do tempo. Atualmente este tipo de tecnologia é aplicada nos equipamentos de irrigação pressurizada do tipo pivô central, sistema de aspersão linear e localizada (gotejamento e microaspersão). A economia de água relatada com o uso desta tecnologia é variável entre 5 e 30%, dependendo da desuniformidade das plantas no campo, o que contribui para o aumento da eficiência do uso da água pelas culturas (MANTOVANI; NETO; PAOLINELLI, 2022).

O tripé de sustentação da Revolução Verde baseou-se em três premissas básicas: (i) o melhoramento genético que proporcionou variedades com potencial de alta produtividade, (ii) o uso intensivo de produtos químicos (adubos, herbicidas, inseticidas) e (iii) a implantação da tecnologia de irrigação em larga escala. Sem o uso de fertilizantes e defensivos, as novas sementes não poderiam expressar seu potencial genético e sem água suficiente, os fertilizantes teriam pouco efeito (POSTEL, 1999). Estimativas de Coelho (2007) afirmam que foram instalados mais de 3.000 hectares em áreas comerciais de gotejamento em cana-de-açúcar no Brasil, em projetos com áreas médias entre 100 e 250 hectares, principalmente em áreas de grandes fornecedores de matéria prima para usinas. Atualmente encontra-se apenas uma usina no Nordeste com mais de 8.000 hectares de gotejamento como a usina Agro Valle na Bahia.

## 2.3 Produtividade de sistemas irrigados

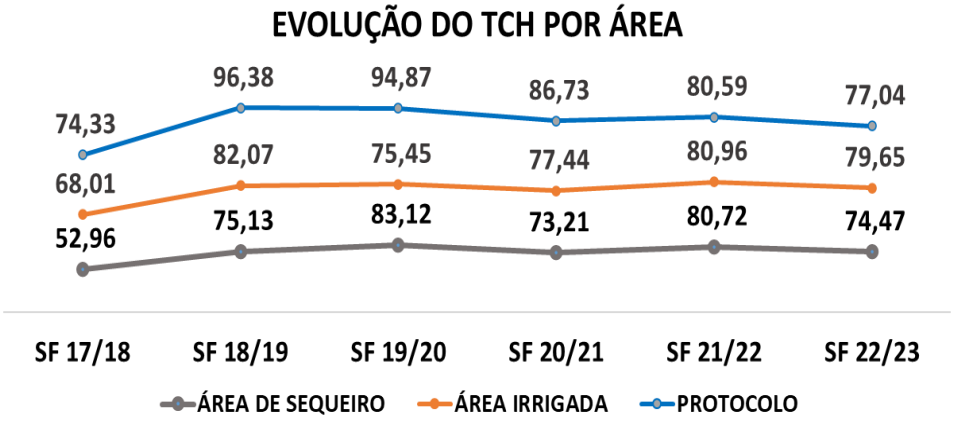
A irrigação é uma tecnologia imprescindível no processo de aumento da produtividade de culturas agrícolas e sua adoção dependente da disponibilidade hídrica de cada região. Em regiões desérticas e áridas, onde a precipitação anual é inferior a 250 mm, ou seja, muito baixa ou nenhuma, a irrigação é obrigatória, pois nenhum tipo de cultura pode

se desenvolver sem receber água. É o caso de países no Golfo Pérsico, na África Subsaariana e de algumas regiões do México, Chile e Argentina, e outras zonas desérticas do globo terrestre (TESTELAF, 2017).

Na utilização das técnicas de irrigação para suprir as demandas ou necessidades hídricas das plantas, mesmo com a falta de chuva, o risco de quebra de safra é minimizado, com maior garantia de produção. A redução dos riscos de quebra de safras é um fator atrativo para investimentos, tanto em áreas já ocupadas por unidades produtivas, como em áreas agrícolas com baixa taxa de ocupação de terras. Desta forma, a irrigação pode se tornar um elemento ampliador da disponibilidade de produtos e facilitador de capitalização no setor sucroenergético (COELHO, 2017).

A irrigação, quando utilizada de forma complementar a chuva, principalmente nas regiões onde o total de precipitação permite o desenvolvimento e a produção das culturas, proporciona melhor aproveitamento dos recursos hídricos, aumentando a eficiência do uso da água aplicada pela chuva. A complementação da demanda hídrica da cultura pela irrigação, nos momentos mais requeridos, proporciona o aproveitamento da água da chuva de modo a resultar em produção efetiva. Caso contrário, a presença da precipitação pluviométrica durante quase todo o ciclo da planta não seria uma garantia de ocorrência da produção final, da forma desejada, se faltasse água em momentos críticos do ciclo vegetativo (TESTELAF, 2017

**Figura 1.** Evolução das últimas seis safras de cana-de-açúcar, em área de sequeiro e área irrigada no grupo Luiz Jatobá, em São Miguel dos Campos, Alagoas.




Fonte: Autor (2023)

A presença controlada de água na produção agrícola, mediante o uso da irrigação, permite ao agricultor ampliar o número de safras, mantendo uma boa produtividade em

relação a áreas de sequeiro. Na safra 2017/18 (Figura 1), de acordo com a ANA (2017) o déficit hídrico das culturas foi elevado devido a irregularidade em função da distribuição das chuvas, causando perda de cana por falta dos recursos hídricos disponíveis. Testelaf (2017) afirma que o produtor com uma irrigação bem planejada tem como planejar os seus plantios em diferentes épocas ou estações do ano e tendo a possibilidade de colheitas na entressafra para realizar um plantio de inferno de qualidade. Este tipo de cultivo pode melhorar a lucratividade da produção pela remuneração extra que se obtém colocando o produto no mercado no momento de baixa oferta e alta remuneração.

É primordial também considerar o manejo de irrigação, com a equipe sempre atualizada com os diferentes manejos existente no mercado, treinamento constante em relação as operações dos equipamentos, que permite ao produtor gerenciar de forma efetiva a decisão da irrigação, mantendo as condições ótimas para a cultura, sem excesso e com otimização do uso de energia (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009). As orientações técnicas atuais são realizadas através de dados das culturas, do clima, do solo, de imagens de satélites, entre outros pontos, visando orientar o produtor sobre quando ele deve irrigar e a quantidade de água a ser utilizada de acordo com a cultura e seus diferentes estágios; para isso é importante o produtor investir em um pacote tecnológico.

## 2.4 Sistema de aspersão linear

A irrigação é hoje uma técnica absolutamente necessária para implantação de uma agricultura racional, que garante uma maior produtividade e um produto de melhor qualidade, principalmente em regiões de clima árido ou semiárido. O Sistema de aspersão Linear é um sistema de irrigação por aspersão com movimentação mecânica empregado, principalmente em áreas grandes com a finalidade de maior aproveitamento da área. Existem basicamente quatro formas de aplicação de água às áreas irrigadas, que caracterizam os principais sistemas de irrigação: através da superfície do solo, de aspersores que aplicam água a toda área, de emissores que localizam a aplicação de água às áreas de interesse, e do movimento ascensional do lençol freático (SCALOPPI, 1986).

O sistema constituído de uma lateral móvel, com vários aspersores, suspensa por torres sobre rodas, que irriga uma área quadrada através da rotação da linha lateral móvel ligada a torre de comando conhecido como o carte. A alimentação do sistema é feita por mangueira de PEAD acoplada normalmente em hidrantes que saem de uma adutora fixa ou móvel, esse sistema é empregado em áreas irrigadas de grande tamanho. Segundo

(MEDEIROS.A.M.M, 2010), esses sistemas possuem uma estrutura aérea, composta por lances, que são estruturas de aço compostas por tubos com pequenas saídas em que são colocados os aspersores e por onde é conduzida a água. Os lances são sustentados por um sistema de treliças e tirantes e apoiados sobre torres móveis. O número de lances é limitado em 22 para o sistema linear, o que dá uma largura de até 1.260 m. Para o sistema universal linear, o limite é de 350 m; para o sistema linear duas rodas, a largura de até 520 m é a mais indicada.

As grandes áreas irrigadas pôr o sistema de aspersão Linear nem sempre estão livres de obstáculos tais como edificações, linhas elétricas, vias de comunicação, canais etc. Os obstáculos limitam a utilização desse sistema, por impedir o livre deslocamento do equipamento. Com relação à extensão da superfície irrigada por cada pivô, a viabilidade econômica será maior quanto maior for sua área de alcance, já que o custo do equipamento é proporcional ao comprimento da ala, enquanto a superfície irrigada é proporcional ao quadrado do referido comprimento.

A irrigação por aspersão tem por objetivo distribuir água sobre a superfície do solo, de modo a permitir a infiltração sem escoamento superficial, além disso, a água deve ser distribuída de maneira mais uniforme possível, de forma a se obter uma adequada uniformidade de aplicação em condições de campo. Segundo W.A. ABEL (2008), apresentou alguns métodos de avaliar a velocidade de infiltração da água no solo (VIB), no sistema de plantio direto, mas que pode ser empregado nos modelos de diferentes plantios e em solos com diferentes das características citadas por o autor; alguns desses modelos matemáticos de Kostiakov, Horton e Kostiakov-Lewis e o modelo pratico do anel; podem se diferenciar estatisticamente de acordo com a velocidade de infiltração da água em diferentes tipos de solo, parâmetros esse que é de fundamental importância para definir os métodos de conservação do solo, planejamento e dimensionamento de sistemas de irrigação e drenagem.

Quanto ao equipamento, os fatores são: pressão de operação do emissor, velocidade e alinhamento da linha lateral do equipamento, e altura do emissor. A redução da altura do emissor em relação à cultura é uma técnica muito utilizada para reduzir as perdas por evaporação e deriva. Quanto ao método de avaliação, os fatores são: o espaçamento e o número de linhas radiais de coletores. Outros fatores importantes que podem interferir no nível de uniformidade de distribuição da água são climáticos e não climáticos. Os fatores climáticos são: evaporação, temperatura do ar, umidade relativa e condições locais do vento.

Os fatores não-climáticos são relacionados ao equipamento e ao método de avaliação, pois tem que seguir as regras de ABNT na coleta e no processamento dos dados.

## 2.5 Sistema de aspersão autopropelido

O sistema autopropelido foi a primeira evolução da aspersão em termos de automação, apresenta facilidade de manejo e adapta-se a diferentes tipos de cultura. No entanto, necessita de alta pressão de serviço e, consequentemente, elevado consumo de energia. O custo variável do sistema autopropelido pode ser um fator limite na escolha deste tipo de equipamento, contudo, se for adotado um manejo adequado é possível utilizar, muitas vezes, o sistema de irrigação em tempo inferior àquele em que foi projetado, economizando assim em termos de operação, com reflexos diretos nos custos de energia de bombeamento e mão-de-obra (SCALOPPI e COLOMBO, 1995).

Esse sistema de irrigação é composto por uma mangueira de polietileno, o carrinho irrigador que fica no final da mangueira com por um aspersor, ao lado do rolo está composto uma turbina e redutor que após a entrada de água gera um movimento na turbina causando velocidade que está uma correia ligada ao redutor, e fazendo com que o técnico controle a velocidade de acordo com lâmina desejada a ser aplicada seguindo a orientação do fabricante, com essa velocidade faz com que a mangueira seja recolhida. o rolo é montado em forma de carretel que fica apoiado em cima de um chassi com uma roldana giratória de 360° locado em uma carreta composta com dois ou quatros pneus, para poder se deslocar de um ponto para o outro (PRADO et al., 2007; COLLIER & ROCHESTER, 1980; COLOMBO, 1991).

O sistema autopropelido foi desenvolvido com o objetivo de reduzir a mão-de-obra na movimentação das canalizações, sendo o alto custo desta operação e a carência de funcionário qualificado são os principais motivos do surgimento desses sistemas (FRIZZONE, 2017).

**Figura 2.** Autopropelido em operação,

Fonte: autor (2023).

O Autopropelido é um sistema que irriga faixas longas, de largura variável, deslocando-se de forma contínua e linear no sentido do eixo da faixa. O aspersor funciona setorialmente, de maneira que o seu deslocamento se faz em solo seco. Atualmente, os equipamentos mais comuns no mercado são aparelhos tracionados por mangueira. Em uma extremidade, montado sobre um carrinho provido de rodas, é posicionado o aspersor. A mangueira flexível, resistente à pressão, tração e atrito com a superfície do solo, faz a conexão entre o aspersor e os hidrantes. A água sob pressão aciona o sistema de propulsão (turbina hidráulica), promovendo o enrolamento da mangueira em um tambor (diâmetro de aproximadamente 20 vezes o diâmetro do tubo). Os primeiros sistemas fabricados no Brasil eram tracionados a cabo. O aspersor autopropelido se aplica a cultura de diferentes portes, sendo muito utilizado para irrigação de cana-de-açúcar, milho e café (FRIZZONE, 2017).

## 2.6 Água facilmente disponível para as plantas

Os sistemas de plantios na época de maior deficiência hídrica, a irrigação é uma técnica absolutamente necessária para implantação de uma agricultura racional, que garante uma maior produtividade e longevidade da cultura da cana-de-açúcar, e entrega um produto de melhor qualidade, principalmente em regiões de clima árido ou semiárido (NETO E BASTOS, 2013). Existem basicamente quatro formas de aplicação de água às áreas irrigadas, que caracterizam os principais métodos de irrigação: através da superfície do solo, de

aspersores que aplicam água a toda área, de emissores que localizam a aplicação de água às áreas de interesse, e do movimento ascensional do lençol freático (SCALOPPI, 1986). No sistema de irrigação por aspersão, alguns aspersores a aplicação de água ao solo resultam da subdivisão de um jato de água lançado sob pressão no ar atmosférico, através de bocais de aspersores. A razão de aplicação de água, bem como a quantidade de água aplicada, pode ser facilmente adaptada às exigências do projeto.

**Tabela 1.** Demanda hídrica durante o ciclo ou ano, para diferentes culturas.

| Cultura | Demanda hídrica (mm) | Cultura | Demanda hídrica (mm) |
|---|---|---|---|
| Algodão | 550-1100 | Feijão | 300-600 |
| Arroz | 600-1200 | Fumo | 300-600 |
| Banana | 900-1800 | Milho | 400-800 |
| Batatinha | 350-700 | Soja | 400-800 |
| Café | 800-1200 | Sorgo | 300-600 |
| Cana-de-açúcar | 1000-1200 | Tomate | 300-600 |
| Cebola | 350-700 | Verduras em geral | 250-500 |
| Citrus | 600-1200 | Uva | 500-1000 |

Fonte: Adaptado de Bernardo et al., (2009)

A irrigação está entre as melhores e mais eficientes ferramentas para incremento de produção e produtividade nos tempos atuais e tem se tornado um fator determinante na qualidade e quantidade dos alimentos ricos em fibras e energias disponíveis para uma população que cresce a um ritmo acelerado. No entanto, também é uma das mais complexas e exigentes de conhecimento técnico específico. Netto e Bastos (2013) afirmam que atualmente, há resultados produtivos que não seriam possíveis de alcançar se não fosse pela aplicação artificial de água no solo para suprir a demanda de água das culturas. Entretanto, essa é uma área multidisciplinar, que abrange física do solo, agrometeorologia, fitotecnia, fisiologia vegetal, hidráulica, topografia e outras, que infelizmente são ignoradas na maioria das vezes dentro de um projeto de irrigação.

## 2.7 Perdas de água na irrigação

Na irrigação por aspersão as perdas de água que podem ocorrer são consequências da deriva pelo vento, da evaporação, da percolação abaixo da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura e do escoamento superficial para fora da área irrigada de acordo com

Scarloppi (1986), parte da água lançada sob pressão no ar, através dos bocais com dimensionamentos irregulares dos aspersores, evapora-se antes de atingir a superfície do solo ou as plantas. A amplitude dessas perdas depende das dimensões das gotas e do poder evaporativo da atmosfera. Perdas maiores estão associadas a um aumento da temperatura, a velocidade do vento, a pressão de operação, vazamentos nas linhas de distribuição. As perdas ocasionadas pela deriva ao vento assumem valores típicos, variáveis entre 5 e 10% (KELLER & BLIESNER, 1990).

As condições climáticas em épocas com maior índice deficiência hídrica interferem no rendimento positivo na produção final. A água é um dos principais insumos que limita o rendimento da cultura, reduzindo assim a eficiência do sistema de produção agrícola, no caso da cultura da cana de açúcar tendo que renovar o canavial no máximo em três folhas com baixa produtividade. Para atender a demanda hídrica em locais em que a precipitação é desuniforme, a irrigação é uma alternativa eficaz em condições totais que se utiliza da irrigação para suprir a necessidade hídrica da cultura implantada na área, utilizadas em regiões áridas ou que a intensidade de precipitação seja insignificante e a suplementar que se utiliza para atender a demanda da evapotranspiração das culturas, em que o uso da irrigação é complementada pela precipitação efetiva, reduzindo assim, os riscos na produção agrícola (CARNEIRO & SEDIYAMA, 1988).

As perdas por deriva dependem, de acordo com Ortiz et al. (2009), da velocidade do vento, do diâmetro de gota e da distância que as gotas percorrem até atingir a superfície do solo ou o dossel da cultura. As perdas por evaporação dependem da temperatura e da umidade relativa do ar, da velocidade do vento, da altura de instalação do emissor de água acima da superfície do solo, da pressão de serviço no emissor e do diâmetro de gota formado junto à saída do emissor. De acordo com (FRIZZONE, 2010), ventos fortes, com velocidades superiores a 4 ou 5 m s-1, são muito limitantes à aspersão, provocando grandes distorções na distribuição de água, devendo-se evitar a irrigação nos horários que ocorrem. Vários trabalhos de pesquisa têm demonstrado que o aumento da velocidade do vento provoca a diminuição da uniformidade de distribuição de água, como resultado da distorção do perfil de aplicação de água e da redução da área coberta pelo aspersor e, consequentemente, pela diminuição da sobreposição dos jatos de água (Ribeiro, 1982). Referências.

As perdas por evaporação e deriva pelo vento são controladas pela faixa de gotas de menor tamanho, e a energia de impacto das gotas no solo é praticamente determinada pela faixa de maiores tamanhos de gotas. Portanto, é importante um correto conhecimento da

distribuição dos tamanhos de gotas emitidos pelos aspersores. A seleção de um específico pacote de aspersores para um sistema de irrigação por aspersão operando em um particular tipo de solo, declividade, cultura e condições climáticas vai ser auxiliada pelo conhecimento dos tamanhos de gotas (KINCAID et al., 1997).

Os motores elétricos são os equipamentos que consomem a maior parte da energia elétrica utilizada nos sistemas de irrigação, e o dimensionamento errado desses equipamentos poderá acarretar um maior consumo de energia elétrica (AZEVEDO, 2003). Nos sistemas de irrigação, normalmente os motores elétricos utilizados para acionamento das bombas são dimensionados para atender a máxima demanda de vazão associada com a máxima altura manométrica.

## 2.8 Avaliação do sistema de irrigação

O conceito de eficiência de irrigação engloba dois aspectos básicos: a uniformidade de aplicação e as perdas que podem ocorrer no período de operação do sistema. Para que a eficiência possa atingir índices aceitáveis, faz necessário que durante o funcionamento do sistema as perdas sejam as mínimas possíveis.

A previsão da redução do consumo de água tem fundamentação na evolução tecnológica dos equipamentos e na melhoria do manejo da irrigação, permitindo o uso mais eficiente dos recursos hídricos. Entretanto, há técnicas que visam avaliar equipamentos e sistemas de irrigação, com objetivo de verificar falhas principalmente na distribuição e na eficiência de aplicação de água. Araújo et. al (2001), afirma que o aumento sistemático dos custos energéticos no bombeamento de água, além de fatores ambientais relacionados a retirada de grandes volumes de água de efluentes e do subsolo para uso em pivôs centrais, tem trazido ao centro da discussão, o aumento da eficiência do uso de água, com objetivo de atenuar impactos ambientais através da redução de seu consumo ao longo do tempo.

Segundo Barreto Filho et al. (2000), a uniformidade de aplicação de água é um parâmetro que detalha o sistema de irrigação em função da diferença de volume aspergido na planta ao longo das linhas laterais, tendo resultado direto no desempenho das culturas, por isso, é considerada como um dos fatores mais determinantes no dimensionamento e na execução de sistemas de irrigação.

Diversos coeficientes são utilizados para demonstrar a variabilidade de distribuição da água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão, na superfície do solo. O primeiro

deles foi sugerido por Christiansen (1942) e adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão (CUC).; agora Criddle et al. (1956) inseriram outra medida da uniformidade, considerando a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada (CUD).

Desta forma, na irrigação por aspersão após a coleta dos dados, os valores que ficarem abaixo de 80% de acordo com coeficiente CUC E CUD, o sistema precisa ser avaliado, em interação com o meio agrícola, com objetivo de verificar se o seu desempenho está de acordo com o que foi previsto no projeto. Com isso, há a possibilidade de serem feitos ajustes e correções para melhorar a sua performance e subsidiar tomadas de decisões no que concerne a qualidade da manutenção e manejo do sistema (FOLEGATTI; PESSOA; PAZ, 1998).

# 3. OBJETIVOS

## 3.1 Gerais

Avaliar a uniformidade e distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão linear móvel e pivotante e o autopropelido, no município de São Miguel dos Campos – AL, visando otimizar o desempenho do sistema.

## 3.2 Específicos

Realizar os ensaios de uniformidade de distribuição de água, através dos seguintes coeficientes: Coeficiente de Distribuição de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD);

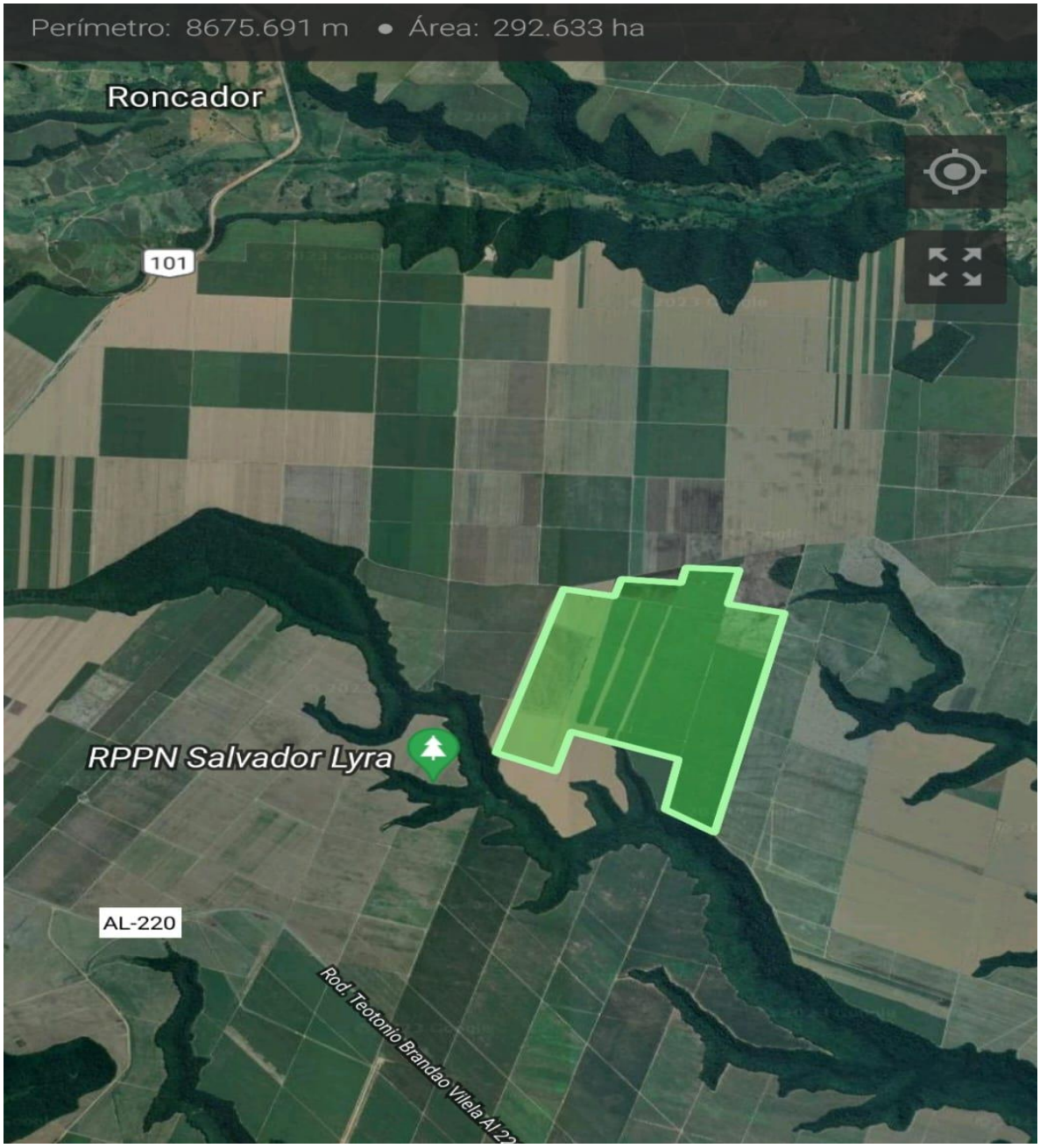
Comparar os resultados de uniformidade de distribuição de água, encontrados pelos diferentes métodos.

# 4. MATERIAL E MÉTODOS

## 4.1 Localização do ensaio do sistema de aspersão linear

Os dados de campo foram coletados na fazenda Carobas, pertencente ao município de Marechal Deodoro, Alagoas. A fazenda está localizada na latitude -9° 44’ 51,503”, longitude -36° 0’ 34,574” e altitude de 20 metros.

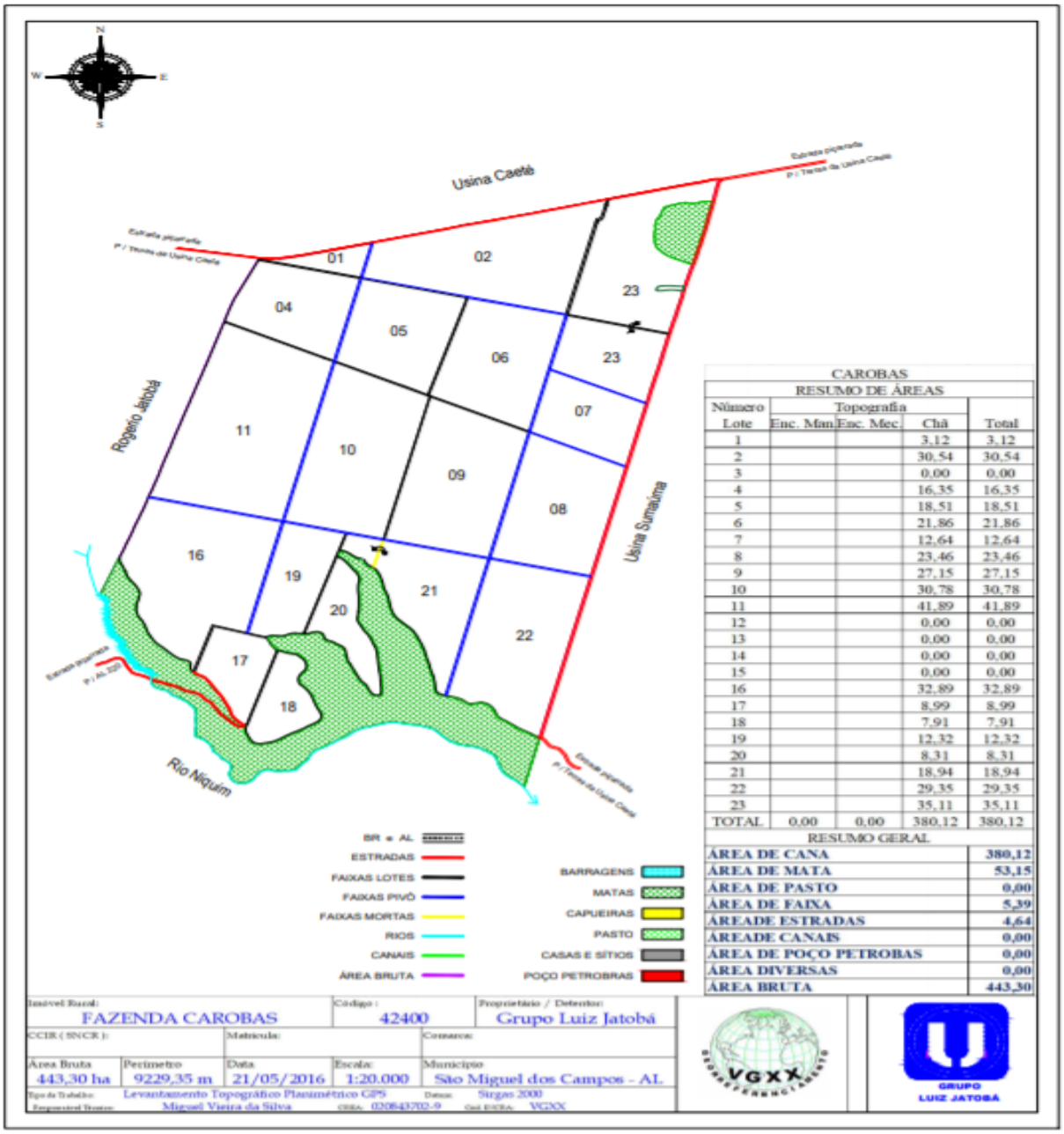
**Figura 3:** Área de coleta dos dados.




Fonte: Autor (2023).

Área irrigada de 293,60 ha, com um linear móvel, lateral rebocável e pivotante, que pivota em duas bases, com quatro setores de irrigação (A, B, C e D). A temperatura média anual é de 28 °C, a precipitação anual de 2022 foi de 3492 mm, com seis meses secos; o clima é quente e úmido com chuvas de outono a inverno. O solo predominante na região é argissolo amarelo de textura média/argilosa, com relevo suave ondulado, conforme jacomine et al. (1975) atualizando de acordo com a metodologia da EMBRAPA (2006).

**Figura 4.** Mapa da fazenda Carobas, apresentando toda a parte de georreferenciamento dos talhões.




CAROBAS
RESUMO DE ÁREAS

| Número Lote | Topografia Enc. Man | Enc. Mec. | Chã | Total |
|---|---|---|---|---|
| 1 | | | 3,12 | 3,12 |
| 2 | | | 30,54 | 30,54 |
| 3 | | | 0,00 | 0,00 |
| 4 | | | 16,35 | 16,35 |
| 5 | | | 18,51 | 18,51 |
| 6 | | | 21,86 | 21,86 |
| 7 | | | 12,64 | 12,64 |
| 8 | | | 23,46 | 23,46 |
| 9 | | | 27,15 | 27,15 |
| 10 | | | 30,78 | 30,78 |
| 11 | | | 41,89 | 41,89 |
| 12 | | | 0,00 | 0,00 |
| 13 | | | 0,00 | 0,00 |
| 14 | | | 0,00 | 0,00 |
| 15 | | | 0,00 | 0,00 |
| 16 | | | 32,89 | 32,89 |
| 17 | | | 8,99 | 8,99 |
| 18 | | | 7,91 | 7,91 |
| 19 | | | 12,32 | 12,32 |
| 20 | | | 8,31 | 8,31 |
| 21 | | | 18,94 | 18,94 |
| 22 | | | 29,35 | 29,35 |
| 23 | | | 35,11 | 35,11 |
| TOTAL | 0,00 | 0,00 | 380,12 | 380,12 |

RESUMO GERAL

| | |
|---|---|
| ÁREA DE CANA | 380,12 |
| ÁREA DE MATA | 53,15 |
| ÁREA DE PASTO | 0,00 |
| ÁREA DE FAIXA | 5,39 |
| ÁREADE ESTRADAS | 4,64 |
| ÁREADE CANAIS | 0,00 |
| ÁREA DE POÇO PETROBAS | 0,00 |
| ÁREA DIVERSAS | 0,00 |
| ÁREA BRUTA | 443,30 |

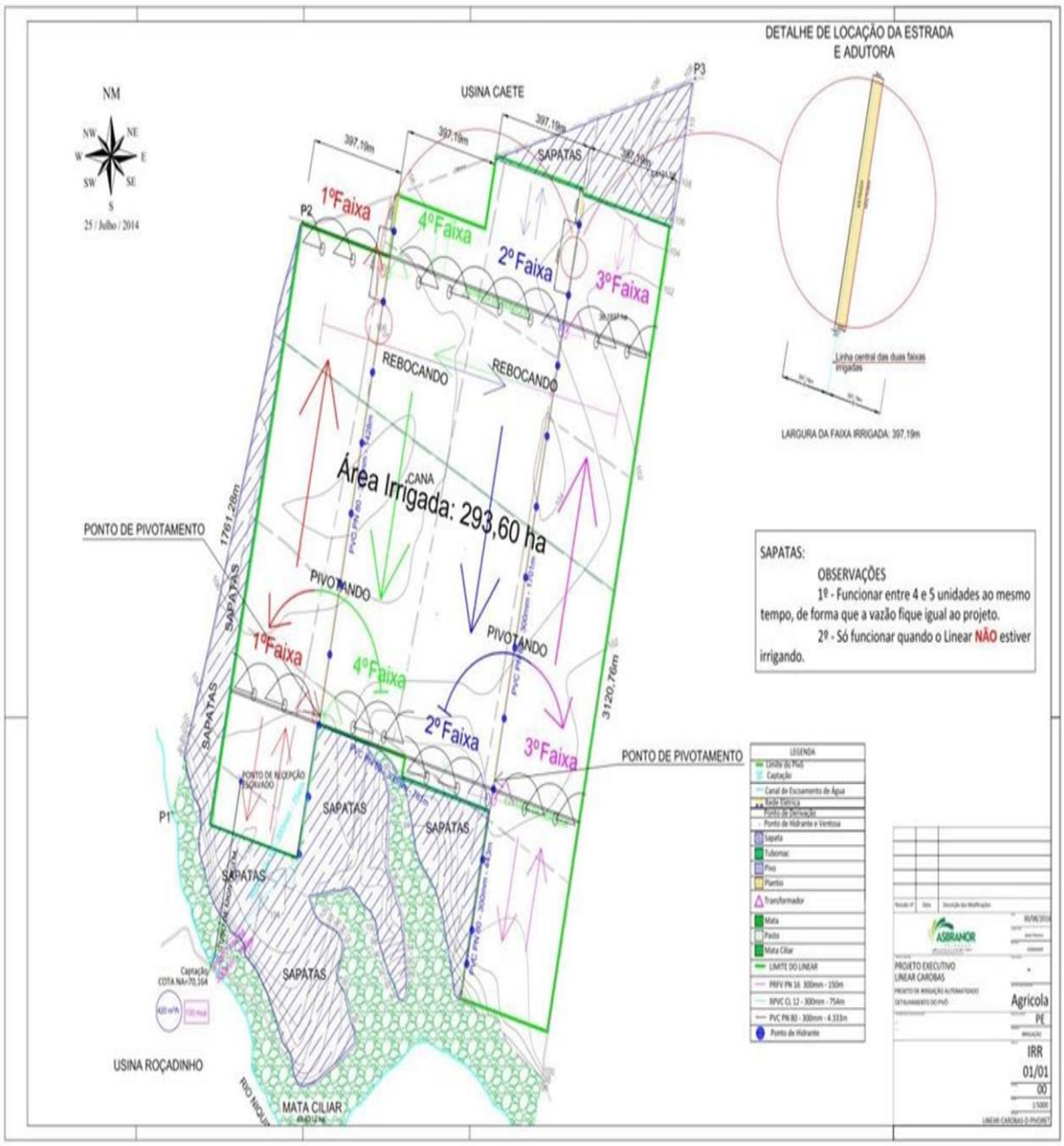
Fonte: Autor (2022)

## 4.2 Caracterização do sistema de irrigação por aspersão linear

O sistema linear móvel ou lateral pivotante avaliado, apresenta baixa pressão, grande porte e vazão elevada. As torres são posicionadas sobre duas rodas, articuladas para serem posicionadas com o objetivo do deslocamento do sistema linear de um ponto para outro, maximizando o uso do sistema. O sistema é acionado por um painel digital que é instalado junto à torre do inicial do linear, onde através deste são inseridas sequências de programação diferentes para o sistema linear executar. O sistema de irrigação linear móvel ou lateral pivotante, é um produto da Valley/Valmont (modelo 4871-8000 - LIN – VSL /8 – 1.850), Altura: Alto – 3.75 m, ano 2016, 8 torres móveis e o balanço final, comprimento total de 397,19 m, com a seguinte composição estrutural: 1 lance médio de 8,5/8"; 6 lances médios de 8,5/8”; 1 lance médio 6.5/8” com balanço de 11 m, com spray final, sem canhão final.

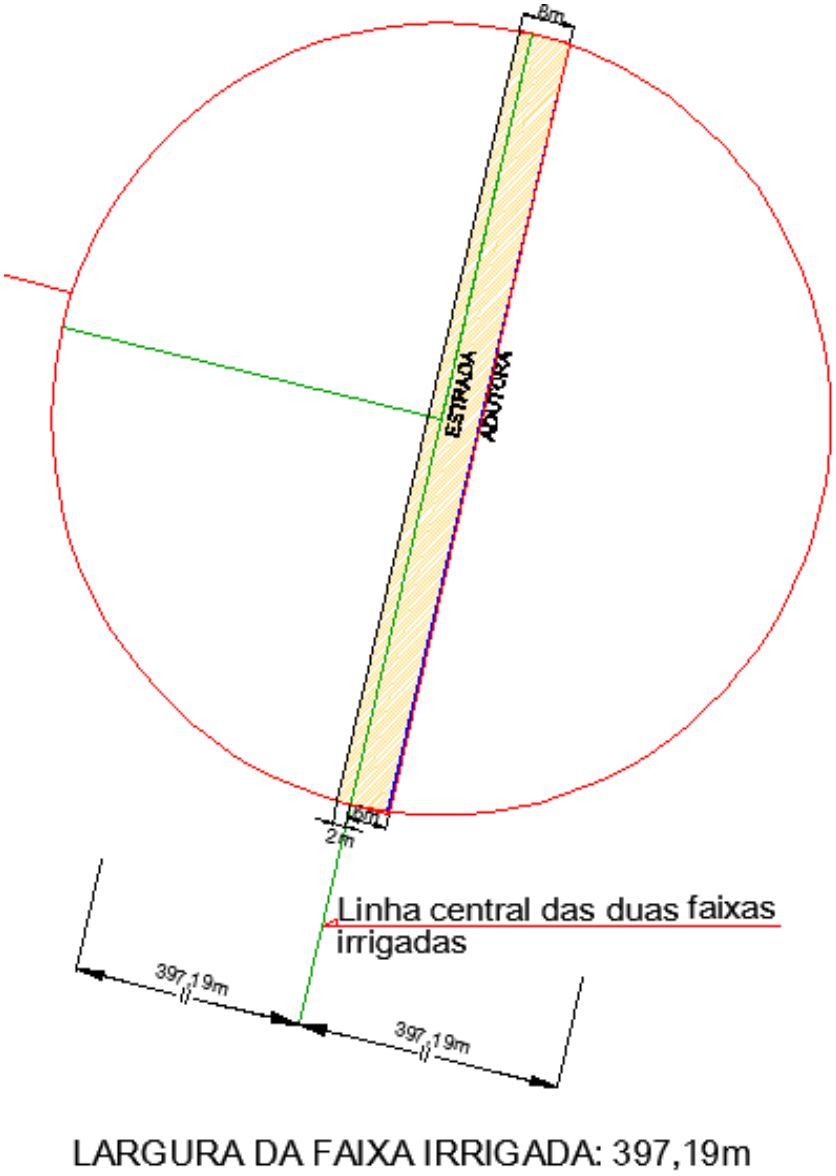
Distribuídos ao longo da lateral encontrava-se 172 emissores tipo I-Wob c/ peso, com tubo de descida flexível e todos apresentando reguladores de pressão regulador 10 PSI 0,69 BAR. O projeto foi dimensionado para trabalhar com uma pressão de 130 m.c.a. na torre inicial, com uma altura manométrica total de 65 m.c.a. e lâmina bruta diária de 2,86 mm $dia^{-1}$, com um total de 90 mm/mês, e 20,20 horas de trabalho diária com velocidade de deslocamento de 23 m $h^{-1}$, dando uma vazão de 419,85 $m^3$ $h^{-1}$, e uma lâmina de 45 mm em 7 dias, dividido em PV1, PV2, PV3, PV4 retornando aos pontos PV1 a cada 15 dias.

**Figura 5.** Sequência de mudanças a serem realizadas durante a operação do sistema linear.




Fonte: Autor (2023).

**Figura 6.** Informações técnicas do comprimento do linear, e faixa irrigada.




Fonte: Autor (2023).

Esse projeto (Figura 4), tem como finalidade aplicar uma lâmina mensal de 85 mm em todos esses talhões mesclados, realizando mudanças de faixas irrigadas semanalmente, sendo dois reboques por máquinas tracionadas como o trator, e dois pivotamentos de 180° apenas girando as rodas da torre inicial, e prendendo a viga base e uma base de concreto por três correntes com os esticadores, como apresentado na figura 6.

**Tabela 2.** Dados técnicos do equipamento linear.

| Lâmina bruta diária | 2,86 mm |
|---|---|
| Modelo | 8000 - LIN |
| Composição | 7 lances médio 8.5/8", 1 lance médio 6.5/8", balanço 11m |

| | |
|---|---|
| Altura | 3,75m |
| Aspersores | I wob com peso e tubo de descida flexível |
| Largura da faixa | 397,17m |
| Área total | 293,06ha |
| Período (relé a 100%) | 9,70 horas |
| Vazão total | 419,85m³/h-¹ |
| Comprimento da tubulação | 396,19m |
| Pressão no final da tubulação | 1,3 atm |
| Mangueira de acoplamento na entrada | 6 polegadas |
| Comprimento da faixa | 2327m |
| Tempo/pivotamento | 4,61/180° |

Fonte: Autor (2022)

### 4.3 Características do bombeamento para o sistema de aspersão linear

O sistema de bombeamento utilizado foi composto por duas motobombas centrífugas em série (Meganorm 200-150-400), com dois motores elétricos, trifásicos, 380 volts, de 150 CV WEG cada, rotação de 1.750 RPM, potência do eixo de 127,99 CV, com uma vazão de 420 $m^3 h^{-1}$ x 130 m.c.a., com um rotor de 376 mm e com o rendimento de 79%, com o início de instalação ao último ponto de 3.552 m de comprimento. A adutora possuí um diâmetro de 300 mm, o primeiro trecho com 150 m de comprimento (tubulação PRFV PN 16 de 300 mm); o segundo trecho com 754 m de comprimento (tubulação RPVC CL 12 de 300 mm); e o terceiro trecho com 2.648 m de comprimento (tubulação PVC PN 80 de 300 mm).

**Tabela 3.** Dados técnicos do sistema de bombeamento em série.

| | | |
|---|---|---|
| Marca/modelo (Bomba 1) | KSB Meganorn | 200 – 150 - 400 |
| Marca/modelo (Bomba 2) | KSB Meganorn | 200 – 150 - 400 |
| vazão | 420 m³/h | 420m³/h |
| Diâmetro do rotor (mm) | 379 | 420m³/h |
| Altura manométrica (m.c.a) | 130 | 420m³/h |
| Motores/weg (cv) | 150 | 420m³/h |
| Rotação (rpm) | 1750 | 420m³/h |
| Trifásico | 380 volts | 420m³/h |

Fonte: Autor (2022).

**Figura 7.** Sistema de bombeamento em série, fazenda carobas no município de Marechal Deodoro, estado de Alagoas.

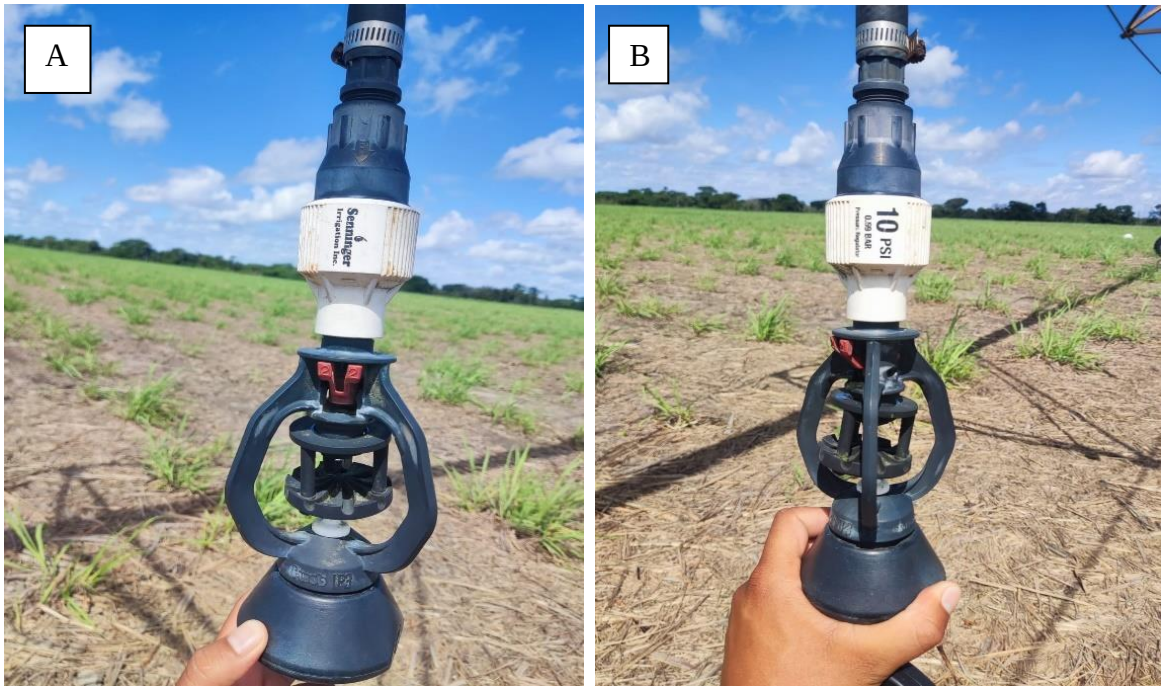
Fonte: Autor (2023).

### 4.4 Características e distribuição dos aspersores

O sistema de aspersão linear foi configurado com aspersores da Senninger® modelo I - Wob UP3 e o bocal de 22 e 22,5 mm em cada emissor, com a pressão de operação padrão entre os 0,69 BAR e 10 PSI, e diâmetros molhados entre os 2,5 e 5 m. Estes emissores estavam à uma altura de 1,30 metros do solo acoplados a reguladores de pressão de 10 PSI fixados a uma mangueira totalmente flexível, presas aos pontos de saída da tubulação aérea (plugs).

O espaçamento entre aspersores é de 2,30 m cada, nos 397 m de comprimento temos 174 emissores I-wob com bocais, variando de 22 a 22,5 mm. Esse levantamento tem a função de regular a vazão e pressão, pois ao longo do sistema linear a pressão de saída dos aspersores é a mesma, não podendo variar o diâmetro de bocais, com a função de manter a vazão do início ao final do equipamento, como apresentado na figura 9.

**Figura 8,9.** Emissores I-wob com reguladores de pressão de 10 PSI OU 0,69 BAR, com bocais de distribuição de 22 mm (A) e 22,5 mm (B).




Fonte: Autor (2023).

Configurações do emissor I-Wob:

- A tecnologia de oscilação (Wobbler) produz intensidade de aplicação baixa para preservar a integridade do solo;
- O peso universal abaixo do bocal elimina a necessidade de pesos convencionais maiores 13;
- O bocal de encaixe do UP3 é fácil de remover para limpeza ou troca. Para retirar o bocal, basta apertar e puxar e, em seguida, colocar no local e encaixar para instalá-lo;
- A placa rotativa e oscilante, preta, possui 9 ranhuras que geram gotas médias, com uma pressão de serviço de 10 PSI gerando um diâmetro de alcance na faixa de 11,6 a 18 m.

O I-wob UP3 da Senninger® é o emissor para pivô mais inovador do mercado. Sua ação rotativa única, combinada com a ação de oscilação do deflator com ranhuras, oferece um tamanho consistente de gotas e uma excelente uniformidade sobre uma ampla área de cobertura. Isso impede a deriva devida à ação do vento, e fornece uma aplicação suave de água, semelhante à chuva de baixa intensidade, no solo, com taxa de vazão entre 182 e 4168 litros por hora, essa escolha por emissores depende de cada tipo de cultura, solo, recursos hídricos disponível na propriedade.

**Figura 10.** Sistema de aspersão linear em operação.

Fonte: Autor (2023).

Sistema de aspersão linear em atividade na fazenda Carobas, se deslocando por desalinhamento das torres, esse processo acontece devido os micros de acionamento que estão inseridos acima de cada torre. A irrigação é fundamental para se produzir com sustentabilidade, além de nos permitir a época de plantio em épocas de maiores déficit hídrico, como também suprir a necessidade hídrica da planta e elevar esse canavial ao final de safra com maiores produtividades e rentabilidade.

**Tabela 4.** Mapa dos bocais do sistema linear por lances, e com as válvulas reguladoras de pressão.

| N° | Lance 01 | | Lance 02 | | Lance 03 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bocais | val. (10 PSI) | Bocais | val. (10 PSI) | Bocais | val. (10 PSI) |
| 1 | 0 | - | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 2 | LEPA 18,5 | 10 | 22 | 10 | 0 | 10 |
| 3 | LEPA 18,5 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 4 | LEPA 18,5 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 5 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 6 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 7 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 8 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 9 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 10 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 11 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 12 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 13 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 14 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 15 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 16 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 17 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 18 | 18,5 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 19 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 20 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 21 | 20,5 | 10 | 22 | 10 | 22 | 10 |
| N° Tubos | 7 | | 7 | | 7 | |
| N° Sprays | 21 | | 21 | | 21 | |
| Diâmetro | 8 5/8" | | 8 5/8" | | 8 5/8" | |

| N° | Lance 04 | | Lance 05 | | Lance 06 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bocais | val. (10 PSI) | Bocais | val. (10 PSI) | Bocais | val. (10 PSI) |
| 1 | 22,5 | - | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 2 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 3 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 4 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 5 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 0 | 10 |
| 6 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 7 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 8 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 9 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 11 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 12 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 13 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 14 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 15 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 16 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 17 | 22,5 | 10 | 22 | 10 | 22,5 | 10 |
| 18 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 19 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 |
| 20 | 22,5 | 10 | 22,5 | 10 | 22 | 10 |
| 21 | 22,5 | 10 | 22 | 10 | 22 | 10 |
| N° Tubos | 7 | | 7 | | 7 | |
| N° Sprays | 21 | | 21 | | 21 | |
| Diâmetro | 8 5/8" | | 8 5/8" | | 8 5/8" | |

| N° | Lance 07 | | Lance 08 | | Balanço final | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bocais | val. (10 PSI) | Bocais | val. (10 PSI) | Bocais | val. (10 PSI) |
| 1 | 22 | - | 22 | 10 | 23 | 10 |
| 2 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22 | 10 |
| 3 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22 | 10 |
| 4 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22 | 10 |
| 5 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22 | 10 |
| 6 | 22 | 10 | 22 | 10 | 22 | 10 |
| 7 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 8 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 9 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 10 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 11 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 12 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 13 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 14 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 15 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 16 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 17 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 18 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 19 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 20 | 22 | 10 | 22 | 10 | | |
| 21 | 22 | 10 | 23 | 10 | | |
| N° Tubos | 7 | | 7 | | | |
| N° Sprays | 21 | | 21 | | 6 | |
| Diâmetro | 8 5/8" | | 6 5/8" | | 6 5/8" | |

**Fonte:** Autor (2023).

O mapeamento dos emissores, bocais e reguladores de pressão é fundamental para produzir com sustentabilidade, longevidade e maximizar a produtividade das culturas, visando economizar os recursos hídricos e aplicar a lâmina de água correta com efetividade; a água é fundamental na produção agrícola do mundo.

## 4.5 Localização do ensaio do sistema de aspersão por autopropelido

Os dados de campos foram coletados na fazenda Pau Paraíba, município de Jequiá da Praia, Alagoas. A fazenda está localizada na latitude -9° 44’51,503”, longitude -36° 0’ 34,574” e altitude de 20 metros.

**Figura 11:** Área de coleta dos dados.

Fonte: Autor (2023).

O solo predominante na fazenda é Latossolo Argissolo Amarelo. Sua área irrigada é de 434,64 ha, com dois autopropelidos e dois linear móvel. Temperatura média anual de 28 °C, precipitação de 2022 foi de 3347 milímetros, com seis meses secos; o clima é quente e úmido com chuvas de outono a inverno.

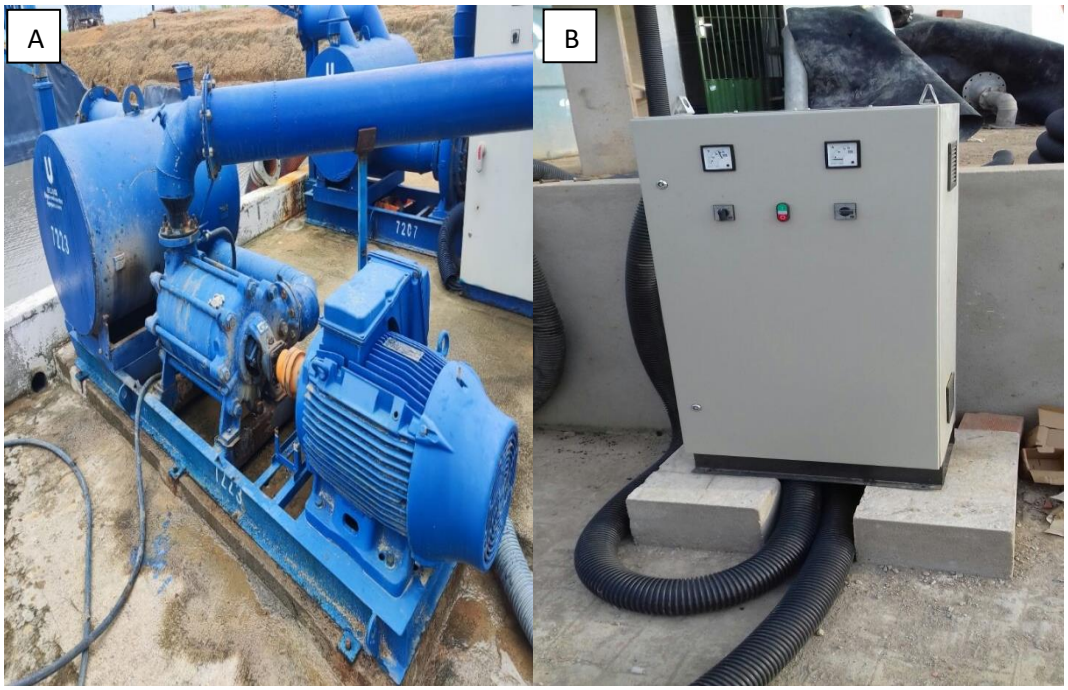
## 4.6 Características do bombeamento para o sistema de aspersão por autopropelido

O sistema de bombeamento utilizado foi composto por duas motobombas centrífugas em série, KSB WKL 100/5 estágio bomba centrifuga de alta pressão, com um motor elétrico, trifásico, 380 volts, de 100 CV WEG, rotação de 1.750 RPM, potência do eixo de 127,99 CV, com uma vazão de 120 $m^3\ h^{-1}$ e com capacidade de bombeamento de 150 m.c.a., com 5 rotores, sendo quatro de 250 mm e um de 260 mm, e com o rendimento de 79%, com o início de instalação ao último ponto de 3.779 m de comprimento. A adutora possuí um diâmetro de 150 mm, com a tubulação, curvas de 90°, válvulas de derivação e de linha, sendo de alumínio e resistência de 18kgf/$cm^2$.

O experimento foi instalado na fazenda Pau Paraíba no talhão 13, com a distância de 1.053 metros do recalque, composto por um autopropelido da setorial, marca HIDRO ROLL, dimensões de 140/400 mm, com um aspersor da marca GEMINI 4’’ e bocal de 34 mm.

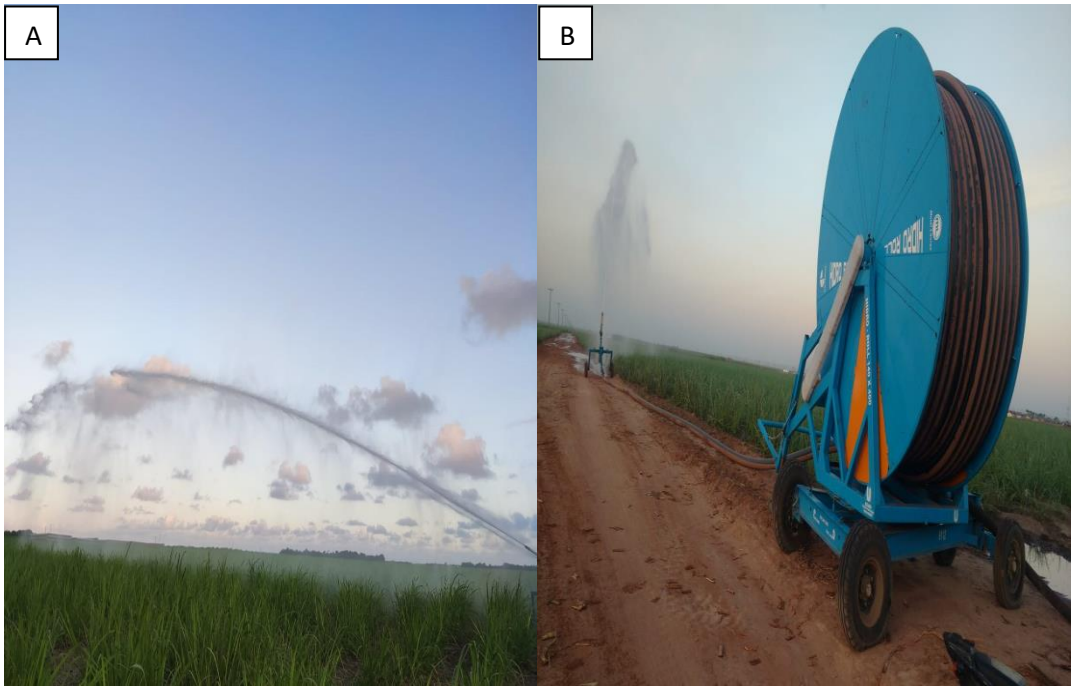
O autopropelido foi disposto em paralelo com 400 metros de comprimento, com raio de 78 m de largura, regulado para recolher na velocidade média de 50 m $h^{-1}$, com a pretensão de aplicar uma lâmina de 27 mm no total, como apresentado na Figura 12.

**Figura 12.** Bomba centrifuga de alta pressão KSB WKL 100/5 estágio (A), chave automática compensadora (B).




Fonte: Autor (2023).

**Figura 13.** Raio de alcance com 78 metros, com 5 kgf $cm^{-2}$ na saída do aspersor (A), autopropelido em operação durante recolhimento da mangueira.




Fonte: Autor (2023).

**Tabela 5.** Dados técnicos do sistema de aspersão autopropelido.

| | |
|---|---|
| Marca | Setorial |
| Modelo | Hidro Roll 140 |
| Tubo polietileno | 140 mm |
| Comprimento tubo de polietileno | 400 m |
| Pressão na entrada da máquina | 8 a 8,5 kgf/cm² |
| Vazão | 107 m³/h |
| Aspersor | Gemini 4” |
| Bocal | 34 mm |

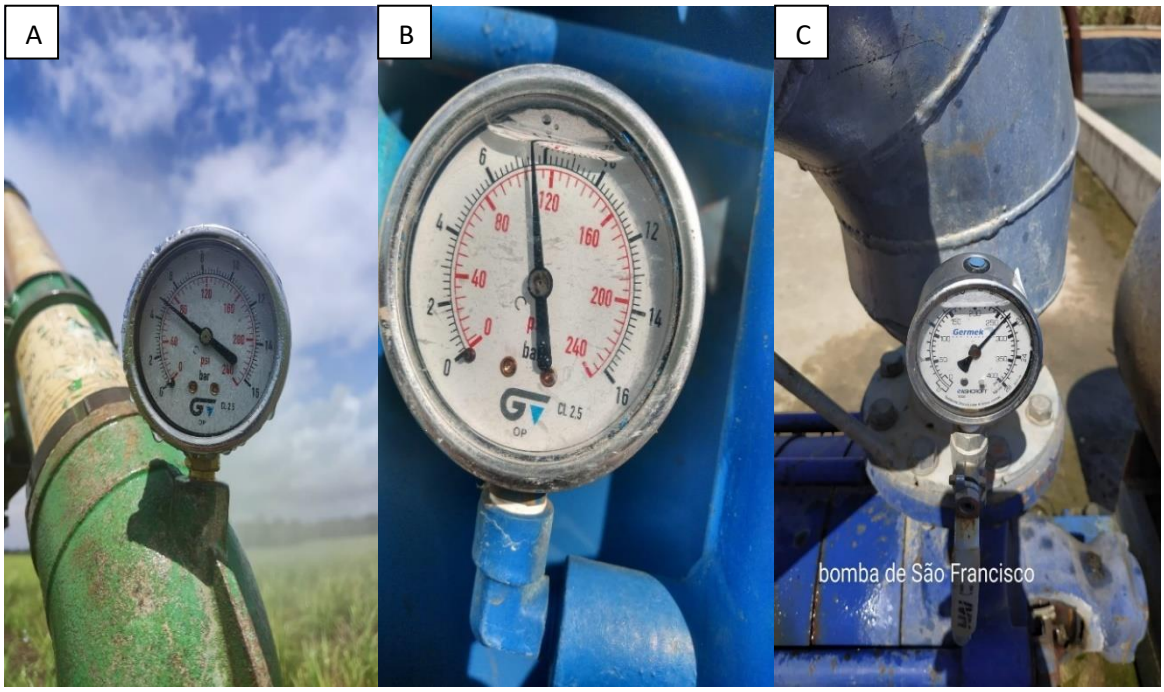
Fonte: Autor (2023).

**Tabela 6.** Recomendação de precipitação do equipamento, com o Aspersor Gemini 4”, através do Bocal, vazão, pressão no aspersor, espaçamento e velocidade para chegar na lâmina estabelecida.

| | |
|---|---|
| Bocal cônico (mm) | 34 |
| Espaçamento (m) | 72 |
| Vazão (m³/h) | 107 |
| Lâmina Bruta aplicada (mm) | 27 |
| Velocidade de recolhimento da mangueira (m/h). | 50 |
| Tempo de irrigação na faixa com 400 (m) | 8 |

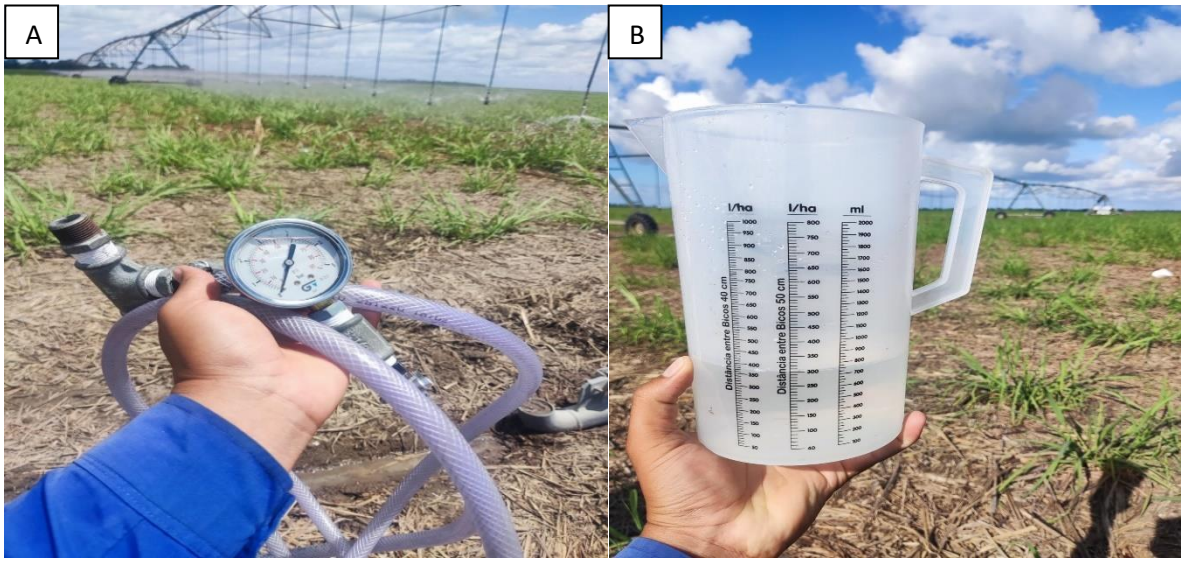
Fonte: Autor (2023).

**Figura 14.** Pressão na saída do aspersor (A), entrada do carretel (B) e saída da bomba (C).




Fonte: Autor (2023).

**Figura 15.** Manômetro para aferição da pressão em cada lance (A) e proveta para aferição da lâmina aplicada (B)




Fonte: Autor (2023).

Ao lado direito a proveta graduada (Figura 15, B) utilizada para a conferência do volume de água aplicada pelo sistema de aspersão, ao lado direito manômetro e mangueira (Figura 15, A) com conexões ¾ para aferição de pressão no sistema linear em cada lance e

no sistema autopropelido em todo o sistema dimensionado como: na saída da bomba, na entrada do carretel e no aspersor.

### 4.7 Metodologia aplicada no ensaio

Para a realização da avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água no equipamento, utilizou-se como base a NBR 14.244 da ABNT (1998), utilizada para avaliações em equipamentos do tipo pivô central e aplicamos a mesma metodologia para o sistema de aspersão linear e autopropelido. Essa avaliação consiste na disposição de pluviômetros em linha uniforme ao longo do raio que o aspersor do equipamento alcançar; para coletar as lâminas de água aplicada e posteriormente realizar a avaliação do sistema com o uso de coeficientes matemáticos.

Neste trabalho, a metodologia foi adaptada para as condições locais do ambiente, pois o sistema linear com um comprimento de 397 metros, e para o autopropelido 400 metros da mangueira de PEAD; com essas informações, para esse estudo exigiria uma maior mão de obra e maior tempo, o que poderia comprometer a avaliação. Além disso, em razão do porte dos equipamentos da empresa e as lâminas aplicadas variarem de 20 a 80 mm, optou-se pela utilização de coletores maiores, capazes de avaliar outros equipamentos instalados na empresa além do linear, possibilitando que sejam reutilizados em avaliações posteriores em outros sistemas de grande porte como o autopropelido.

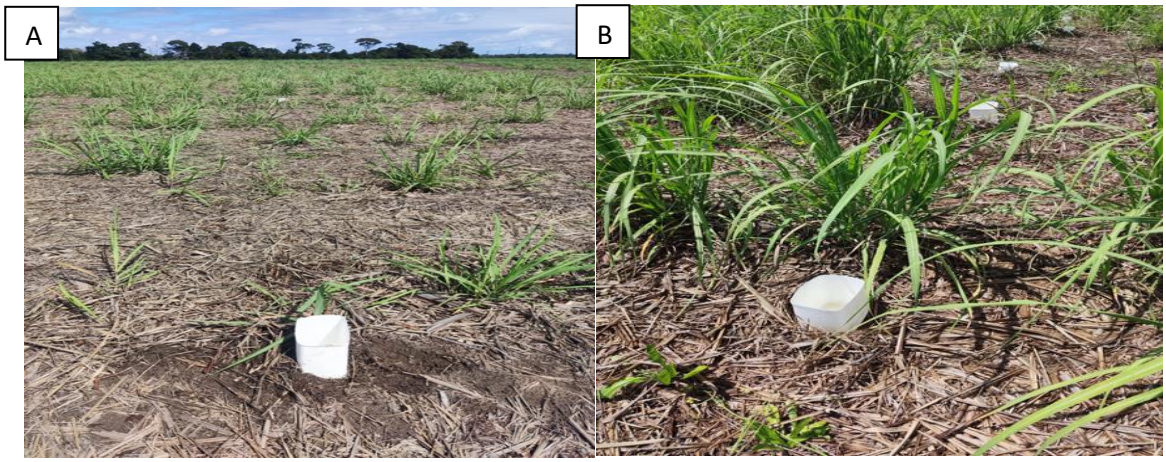
Na NBR 14.244 de 1998, o espaçamento adotado era de 3 m entre coletores e área útil de coleta dos pluviômetros de 30 cm². Foi observada a correlação de 10 cm² de área útil de coleta para cada metro linear de espaçamento entre coletores, o que exige uma grande quantidade de coletores para avaliações em equipamentos mais longos. Para este ensaio com o sistema de aspersão linear e autopropelido foi feita a correlação de 216 cm² de área útil de coleta.

Para o sistema de aspersão linear foram utilizadas duas linhas de coletores, espaçadas entre si em 10 m, de maneira a utilizar a lâmina média entre as duas linhas. O espaçamento entre coletores foi de 10 m, estando estes a uma altura de 20 cm em relação à superfície do solo.

Para o levantamento com o autopropelido, após a escolha do local, iniciou-se o processo com a instalação do equipamento de irrigação, posteriormente a colocação dos coletores de pluviosidade perpendicularmente a direção de deslocamento do autopropelido,

visando coletar toda pluviosidade dentro do dimensionamento de ação do aspersor, de acordo com Frizzone (1992). Foi utilizado 36 coletores, sendo 2 m espaçados entre si, para o raio de alcance do aspersor de 78 m, foi coletado os dados aos 350, 250, 150, 50 m de distância, fazendo com o que não modificasse a correlação original da NBR 14.244 de 1998, ao mesmo tempo em que permite reduzir o número total de coletores e acelerar a coleta das lâminas após a passagem do equipamento, além de facilitar a logística no local de avaliação e montagem do estudo em campo.

**Figura 16.** Instalação dos coletores a campo (A) e alinhados no ponto (B), para a coleta da lâmina aplicada.




Fonte: Autor (2023).

## 4.8 Coeficientes matemáticos utilizados

Para reduzir o desperdício de água e sua aplicação de maneira eficiente, diversos autores propuseram coeficientes para análise da distribuição de água que possibilitariam uma melhor adequação do equipamento de irrigação. Neste trabalho, para os cálculos de uniformidade de distribuição, eficiência e porcentagem de área adequadamente irrigada, foram utilizados para a avaliação do desempenho e da eficiência do sistema de irrigação por aspersão utilizou-se como base os seguintes parâmetros: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD).

Mantovani (2001), classificou os valores de CUC e CUD, apresentados na tabela 7, a seguir:

**Tabela 7.** Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) e Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), de acordo com Mantovani (2001).

| CUC (%) | CUD (%) | CLASSIFICAÇÃO |
|---|---|---|
| >90 | >84 | Excelente |
| 80-90 | 68-84 | Bom |
| 70-80 | 52-68 | Razoável |
| 60-70 | 36-52 | Ruim |
| <60 | <36 | Inaceitável |

Fonte: Autor (2023).

No processamento dos dados obtidos nos ensaios de campo foram utilizados o coeficiente de uniformidade de distribuição de Christiansen (CUC, em %), proposto por Christiansen (1942), e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD, em %), proposto por Criddle et al., (1956), calculado pelas equações 1 e 2, respectivamente.

O cálculo do Coeficiente de Uniformidade (CUC) foi realizado pela equação 1:

$$\mathrm{CUC} = \left(1 - \frac{\sum(\mathrm{Xi} - \overline{\mathrm{X}})}{\mathrm{n} * \overline{\mathrm{X}}}\right) * 100 \qquad (1)$$

em que,

CUC: Coeficiente de Uniformidade e Distribuição de Christiansen, em %;

Xi: Valores de precipitação, em mm;

$\overline{\mathrm{X}}$: Lâmina média coletada, em mm;

N: Número de coletores.

O cálculo do Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) foi realizado considerando a equação 2:

$$\mathrm{CUD} = 100 * \left(\frac{\overline{\mathrm{X(25)}}}{\overline{\mathrm{X}}}\right) \qquad (2)$$

em que,

$\overline{\mathrm{X(25)}}$: Lâmina média de 25% dos pluviômetros com as menores precipitações;

$\overline{\mathrm{X}}$: Média das precipitações, considerando todos os pluviômetros.

Os resultados obtidos dos coletores foram inseridos em uma planilha no Excel®, para o cálculo dos coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) e uniformidade de distribuição (CUD). Antes do cálculo do coeficiente de uniformidade foi realizada a sobreposição das linhas de coleta. Após os testes as lâminas de água coletadas em volume foram convertidas para milímetros, sendo realizadas as sobreposições de segunda ordem.

# 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O início do levantamento dos dados do Sistema de aspersão linear, iniciou às 10:00 horas da manhã e finalizou todo o processo as 12:30 horas, no dia 24/04/2023, verificando todo o sistema de pressurização, conferência de pressão de operação na captação e entrada do linear, conferindo as pressões por manômetros e painéis de controle do sistema linear.

## 5.1 Resultados obtidos pelo sistema linear

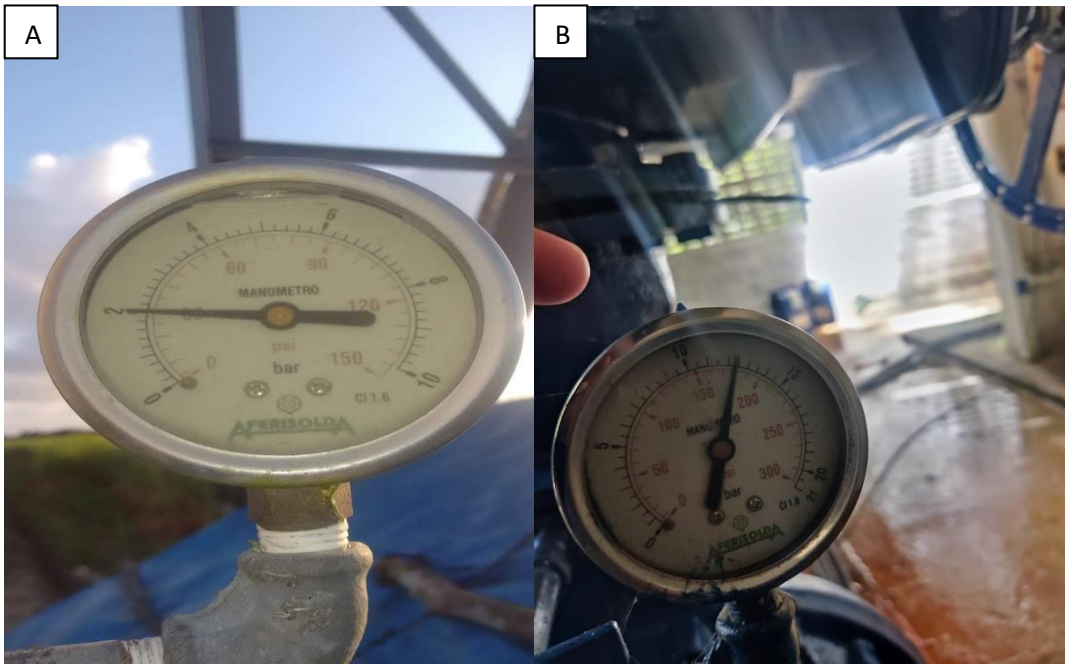
A aferição da pressão durante as operações com sistemas de bombeamentos hidráulicos tem que ser observada com bastante atenção, é importante a conferência desde a captação ao último emissor do sistema, para lhe confirmar como está se comportando os seus equipamentos.

**Tabela 8**. Pressão de entrada, pressão de saída e pressão do bombeamento do sistema linear.

| Entrada do linear | Saída do linear (m.c.a.*) | Bombeamento |
|---|---|---|
| 20 | 10 | 125 |

Fonte: Autor (2023); ***m.c.a.:** Metros coluna de água.

**Figura 17.** Aferição da pressão na entrada do sistema linear com 20 m.c.a. (A) e na saída da bomba com 125 m.c.a. (B).




Fonte: Autor (2023).

Na Tabela 6, constam os valores obtidos de CUC, CUD, estabelecidos pela NBR 14.244 (ABNT, 1998) e a consideração de Mantovani (2001) para avaliação de equipamento de aspersão do tipo pivô central e adaptando para analisar o sistema de aspersão Linear.

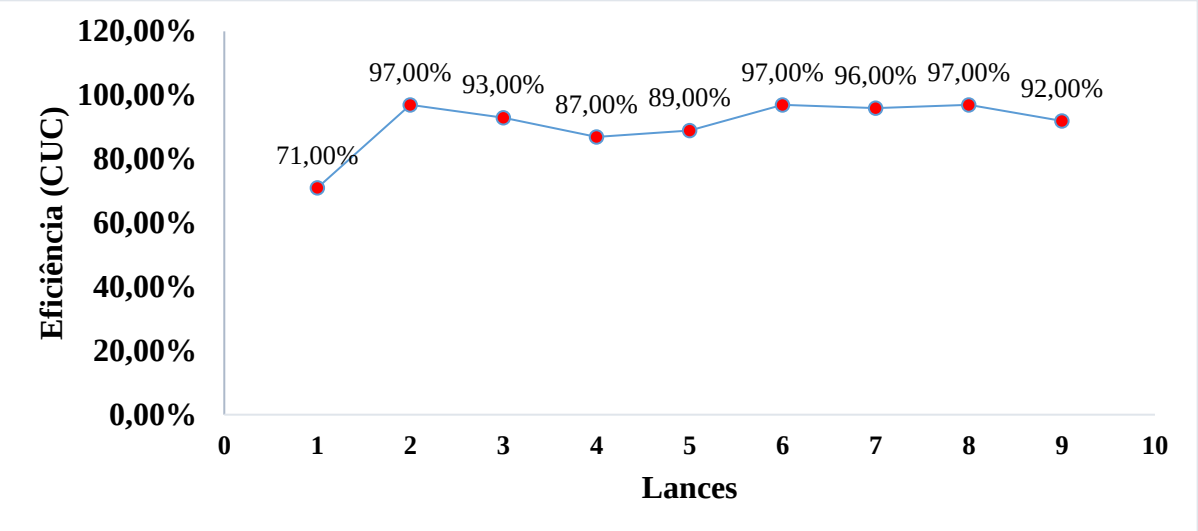
**Tabela 9.** Resultados do CUC e CUD obtidos pelo sistema linear.

| CUC % | CUD% |
|---|---|
| 89,19 | 81,19 |

**Fonte:** autor (2023).

O valor aceitável do CUC adotado como referência por convenção para sistemas de irrigação por aspersão é 0,85 ou 85%. Gomes (1994) afirma que podem ser admitidos valores de CUC < 80% se: (i) a precipitação pluvial tem um valor significativo durante a estação de cultivo, (ii) o custo do sistema é suficientemente pequeno de forma a compensar a redução da receita líquida pela diminuição da produção e, (iii) as linhas laterais são operadas em posições alternadas nas sucessivas irrigações.

**Figura 18.** Avaliação de uniformidade do sistema linear por cada lance médio.



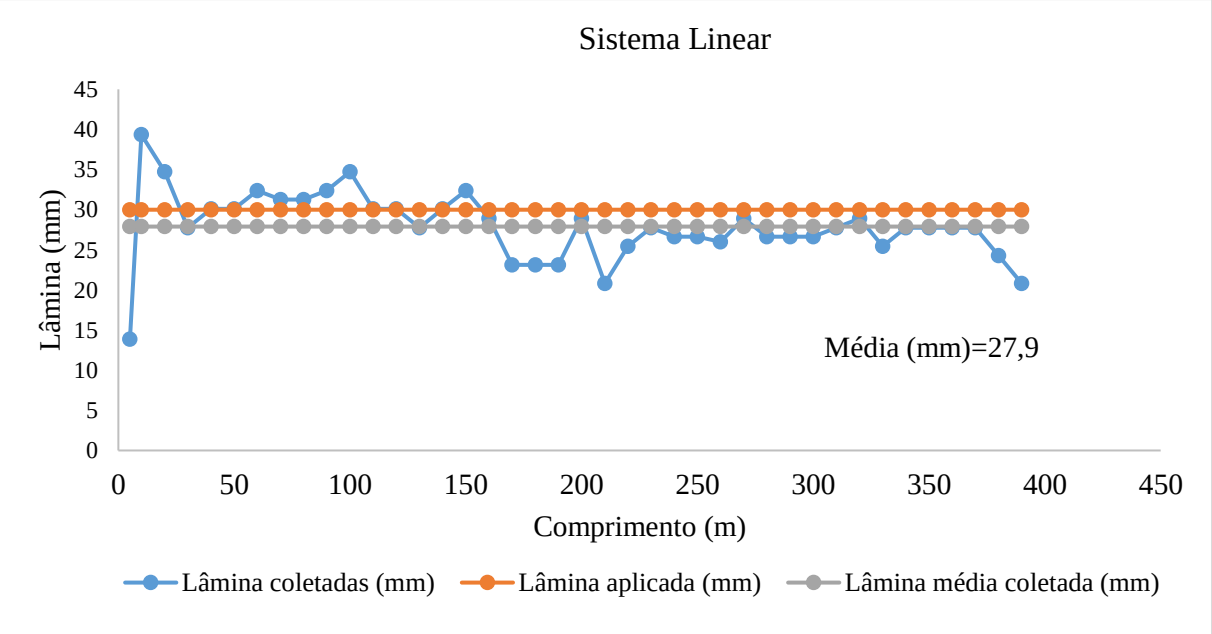

Fonte: Autor (2023).

A avaliação do CUC por lance nos mostra como está a distribuição de água em cada lance específico do sistema, no gráfico apresentado (Figura 18), o 1° lance apresentou o CUC razoável de acordo com Mantovani (2001), e restante dos lances foram classificados como bom e excelente.

Após analisar os coeficientes de uniformidade CUD, é sempre menor que CUC devido as variáveis que são levadas em consideração na equação, considerando 25% da área que recebeu as menores lâminas, enquanto CUC considera 50% da área, portanto, a diferença entre os dois resultados é considerada normal por Resende (2001. O valor de CUC encontrado nesse levantamento dos dados foi de 89,19%, obtido no ensaio comparado com os valores definidos por Mantovani (2001), é foi classificado como bom. Conforme essa mesma classificação, os valores de CUD (81,19%) foram considerados como bom.

Observa-se que em algumas lâminas coletadas, existem diferenças significativas entre o maior valor registrado (34,72 mm) e o menor valor (13,88 mm). A lâmina média obtida nos 40 coletores foi de 27,90 mm; essas diferenças exercem influência sobre os resultados do CUC e CUD analisados, já que o coeficiente leva em consideração o desvio padrão e a média geral dos valores de precipitação. A figura 19, mostra a distribuição das lâminas obtidas em cada coletor, ao longo do equipamento de 397 m de comprimento, em deslocamento de 35 m por hora, com uma lâmina de aplicação desejada de 30 mm.

**Figura 19.** Lâminas coletadas em campo.




Fonte: autor (2023).

Logo, os resultados obtidos na tabela 8, foram calculadas também as lâminas médias, de cada vão do sistema de aspersão linear, onde o maior valor de lâmina média encontrada foi no 2º lance, com 31,06 mm; valor acima da lâmina aplicada de 30 mm, que pode ser

justificado pelo maior tempo de deslocamento do lance causado por algum desalinhamento nos micros de alinhamento.

Bernardo et al., (2006) afirmam que a uniformidade da irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes na operação de sistemas de irrigação. A desuniformidade de distribuição de água gera áreas com déficit e áreas com excesso de umidade, mas a melhoria na uniformidade de aplicação está associada a um aumento nos custos de instalação, operação e manutenção dos sistemas. Entretanto, os custos são convertidos em um maior rendimento da área se bem trabalhados.

**Tabela 10.** Lâminas médias obtidas a cada lance do sistema de aspersão linear.

| Lance | Comprimento Lance (m) | Lâmina média (mm) |
|---|---|---|
| 1° | 48 | 28,93 |
| 2° | 48 | 31,06 |
| 3° | 48 | 31,01 |
| 4° | 48 | 27,54 |
| 5° | 48 | 25,22 |
| 6° | 48 | 26,96 |
| 7° | 48 | 27,48 |
| 8° | 48 | 27,19 |
| 9° Balanço | 11 | 24,3 |

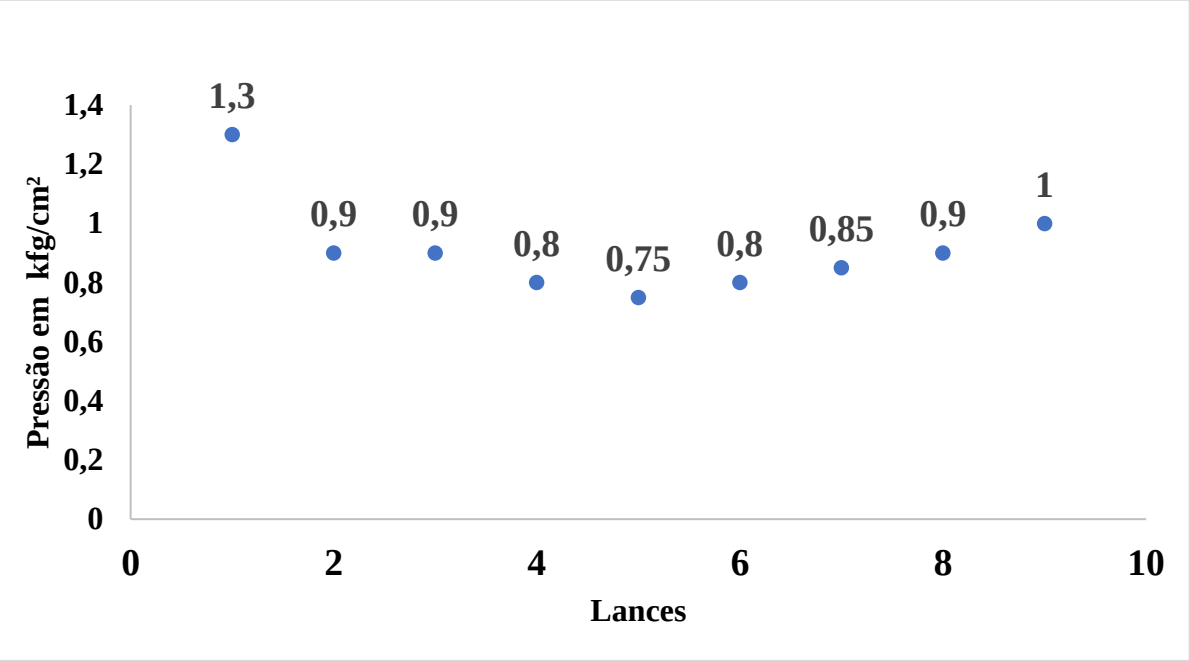
Fonte: autor (2023).

A menor lâmina média registrada ocorreu no balanço com 11 m de comprimento, com 24,3 mm, que pode ser justificado, por não está chegando pressão e vazão necessária no final do equipamento, devido a variação de distribuição encontradas no equipamento, como o diâmetro dos bocais variando de 22 a 22,5 mm. FARIAS et al. (2008), cita que uma das medidas mais rápidas para solucionar o problema diferença de lâmina, além de discuti-lo com o fabricante, é o redimensionamento da curva de controle do equipamento, levando em consideração vazão atual. O procedimento calibra o equipamento no sentido de tornar a

irrigação mais precisa e mais eficiente, entretanto não dispensa a modificação do projeto a fim de corrigir os erros.

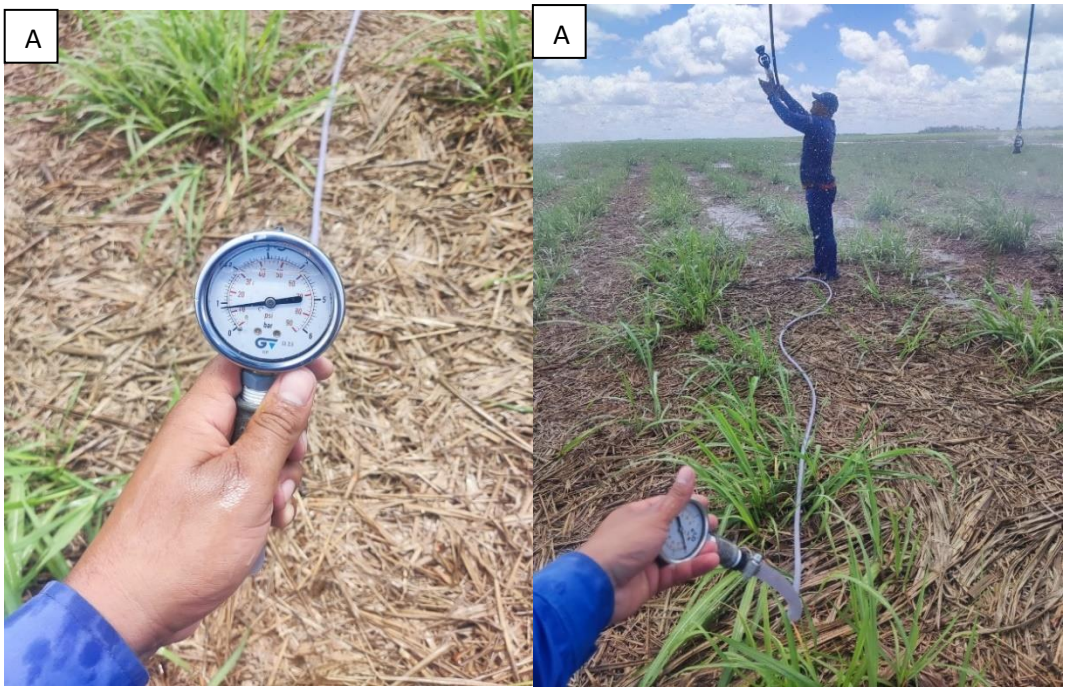
Para expressar a variabilidade de distribuição de água por um sistema de irrigação por aspersão, tem que seguir as etapas de coletas do volume aplicado no deslocamento lateral do equipamento. Observando a tabela 8 acima, estamos com alguns valores abaixo da lâmina desejada (30 mm), observando os resultados calculados, os lances 1°, 4° ao 8°, com uma perda de água variando de 1,07 a 5,7 mm, então esses resultados afetam diretamente a produção final da cultura, visto que em alguns casos, essa avaliação pode ter sofrido interferência por fatores ambientais, como a influência do vento que interfere diretamente na uniformidade de aplicação (DRUMOND et al., 2006). Avaliando o trabalho de Siginer (1987), é de acordo que na irrigação realizada de maneira desuniforme existirá áreas que serão superirrigadas e áreas subirrigadas, onde possivelmente a produtividade de matéria verde, por consequência da desuniformidade é visivelmente diferenciada do resto da cultura.

**Figura 20.** Aferição da pressão em cada lance (kgf $cm^{-2}$).




Fonte: Autor (2023).

**Figura 21.** Avaliação de pressão nos lances do sistema linear (A) e montagem do manômetro antes da válvula reguladora (B).




Fonte: Autor (2023).

As pressões foram aferidas em todos os lances do equipamento, utilizando manômetros para a conferência, visando a melhor uniformidade de distribuição da lâmina desejada dos emissores. De acordo com Alencar et al. (2009), quando o projeto de irrigação apresenta aspersores funcionando com diferentes pressões de serviço, diferentes vazões serão aplicadas e consequentemente menores uniformidades de aplicação de água serão observadas. Como no presente estudo as pressões dos lances avaliados eram diferentes, assim observou-se uma pequena variação na lâmina aplicada, durante o ensaio dos dados.

## 5.2 Resultados obtidos pelo sistema de aspersão autopropelido

A lâmina foi coletada em 4 pontos nos 400 m de comprimento composto por a mangueira de PEAD, sendo 50, 150, 250 e 350 m, divididos em setores: ponto 1, 2, 3 e 4. Durante o experimento, em cada ponto de coleta, foi avaliado a pressão de entrada no carretel de 8 kgf $cm^{-2}$ e 5 kgf $cm^{-2}$ no aspersor.

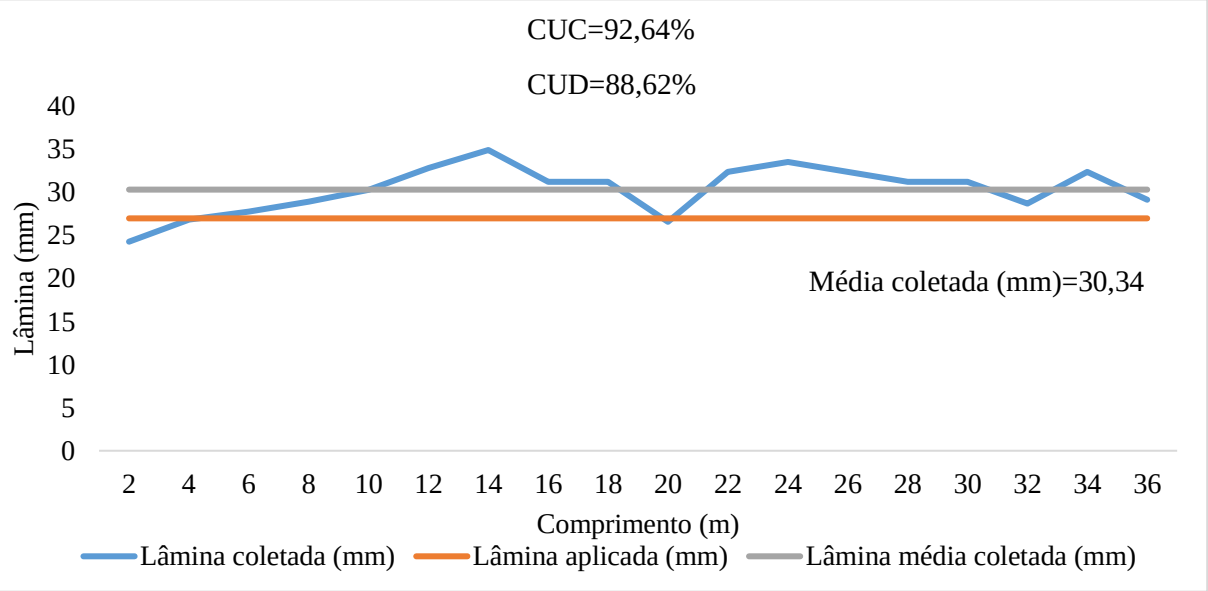
**Tabela 11.** Resultados do CUC e CUD obtidos pelo sistema de aspersão autopropelido.

| CUC% | CUD% |
|---|---|
| 82,21 | 78,52 |

Fonte: Autor (2023).

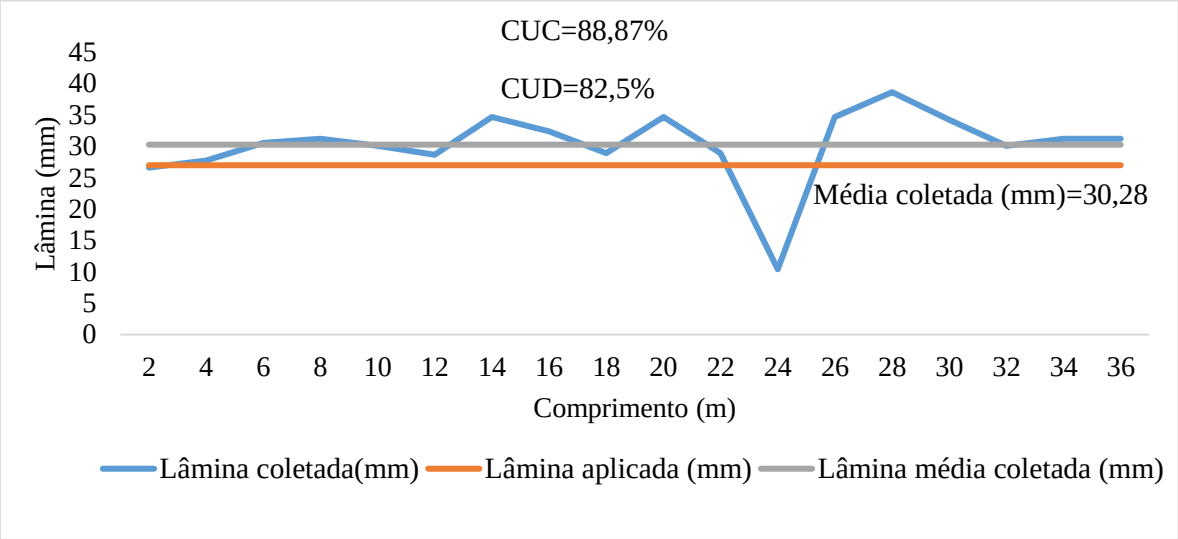
Desta forma, foram plotados gráficos (Figuras 22, 23, 24, 25, 26) com o objetivo de se obter uma melhor visualização das precipitações coletadas no ensaio, como a lâmina aplicada de 27 mm, apresentando a lâmina coletada, e a lâmina média encontrada.

**Figura 22.** Lâminas coletadas aos 350 metros de comprimento.



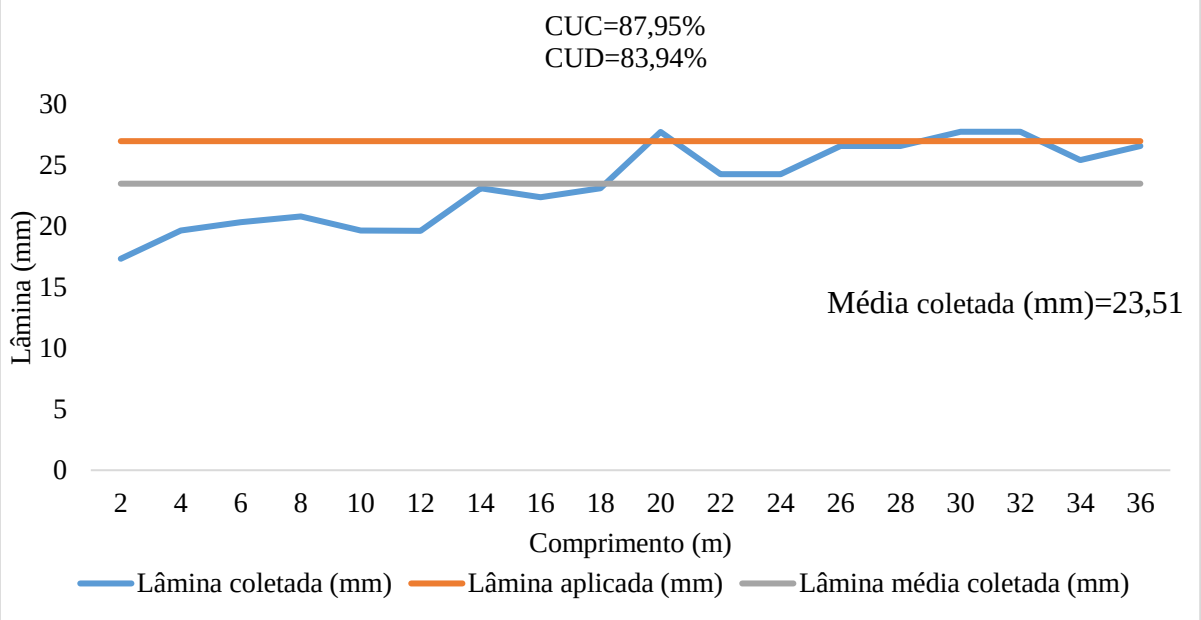

Fonte: Autor (2023).

**Figura 23.** Lâminas coletadas aos 250 metros de comprimento.



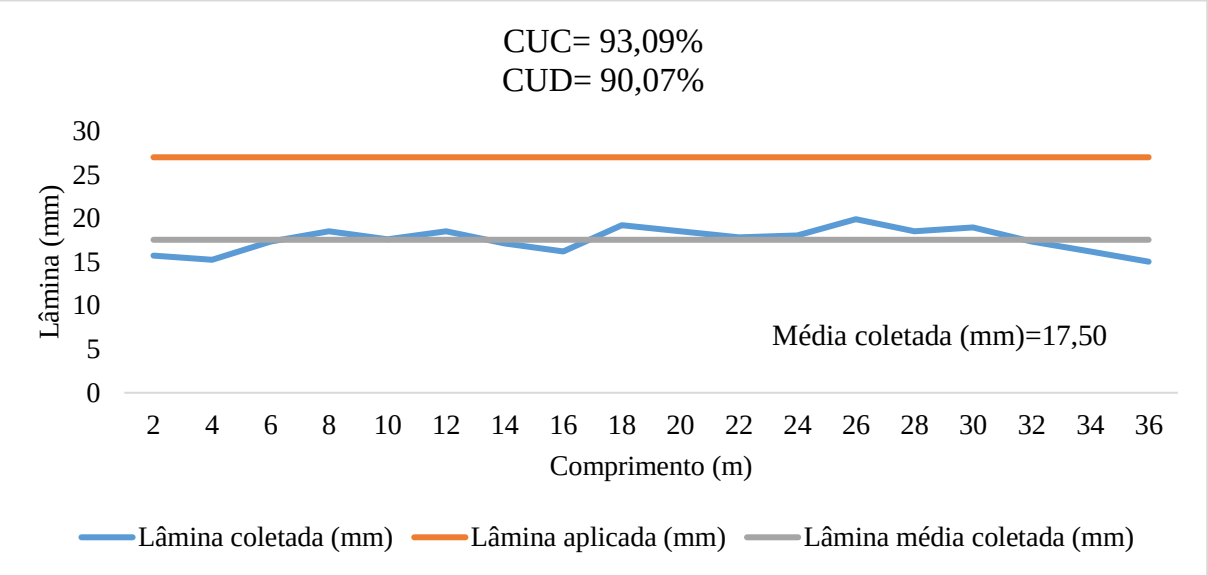

Fonte: Autor (2023).

**Figura 24.** Lâminas coletadas aos 150 metros de comprimento.




Fonte: Autor (2023).

**Figura 25.** Lâminas coletadas aos 50 metros de comprimento.



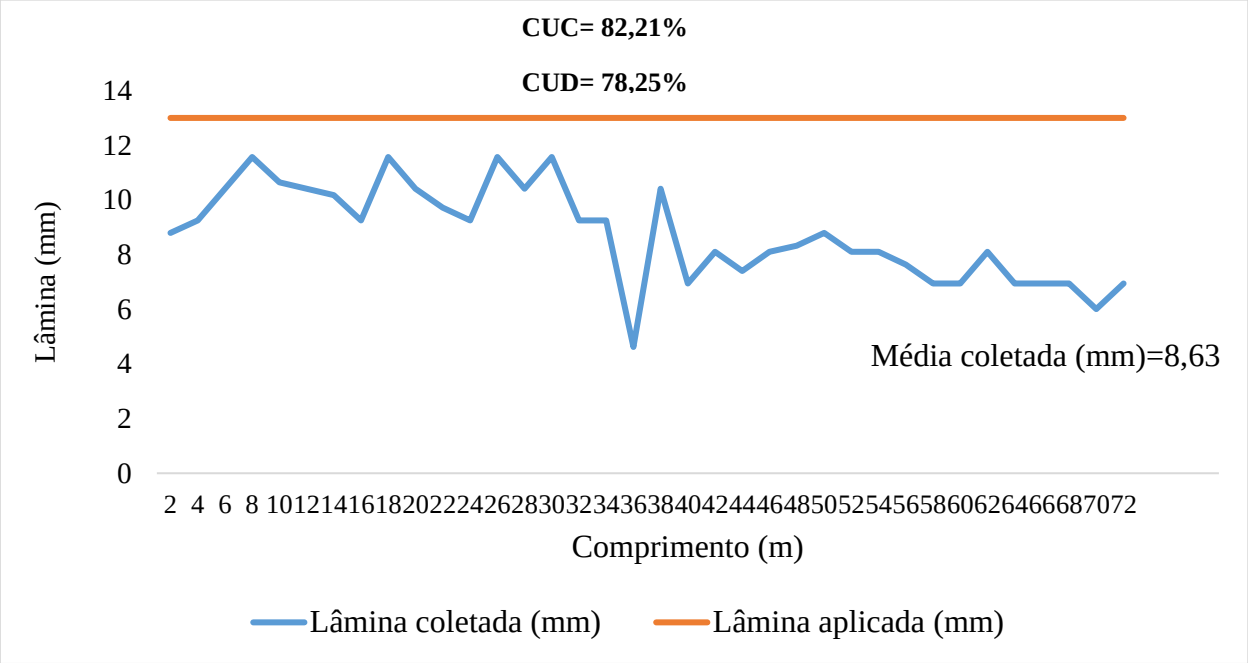

**Fonte: Autor (2023).**

O sistema autopropelido apresentou nas coletas dos dados, menor precipitação no ponto 4, entretanto, nesse ensaio realizado, a coletada foi feita entre 10:30 e 11:30 horas da manhã, horário de maior velocidade do vento no local. Em outro ensaio, entre as 17:00 e 18:00 horas, com menor velocidade de vento, esse mesmo equipamento alcançou ótimos valores de uniformidade na aplicação da lâmina como no ponto 1 e 2, sendo que, a lâmina requerida seria 27 mm em uma faixa irrigada de 78 m.

Normalmente, estudos de avaliação de equipamentos para irrigação visam avaliar o desempenho destes, procurando a sua adequação a uma determinada condição de utilização e a realização de estudos comparativos entre os dados fornecidos pelos fabricantes e os valores obtidos em campo, possibilitando uma melhor indicação de uso dos mesmos (AQUINO, 2006).

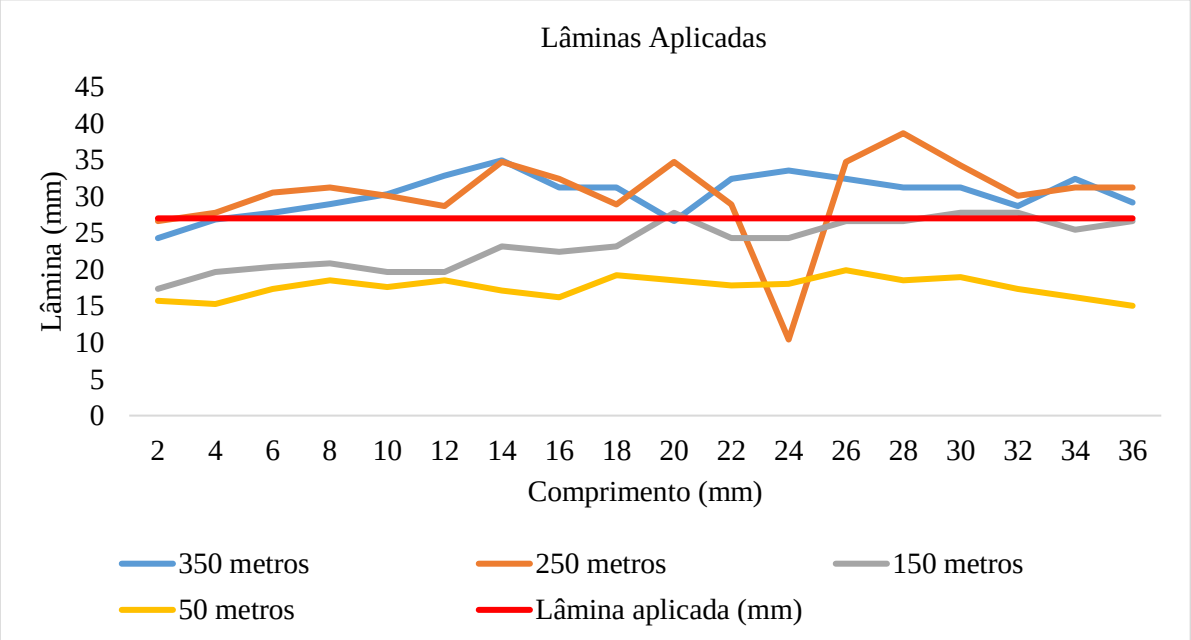
A ocorrência de ventos durante o funcionamento de sistemas de aspersão, ou microaspersão, faz aumentar as perdas por evaporação e deriva, além de afetar a uniformidade de distribuição espacial de água. Inúmeros estudos foram realizados sobre a uniformidade e as perdas de água em sistemas de aspersão sob condições de vento (CHRISTIANSEN, 1942).

**Figura 26.** Lâmina coletada ao raio de alcance do aspersor “Gemini” sugerido pelo fabricante.




Fonte: Autor (2023).

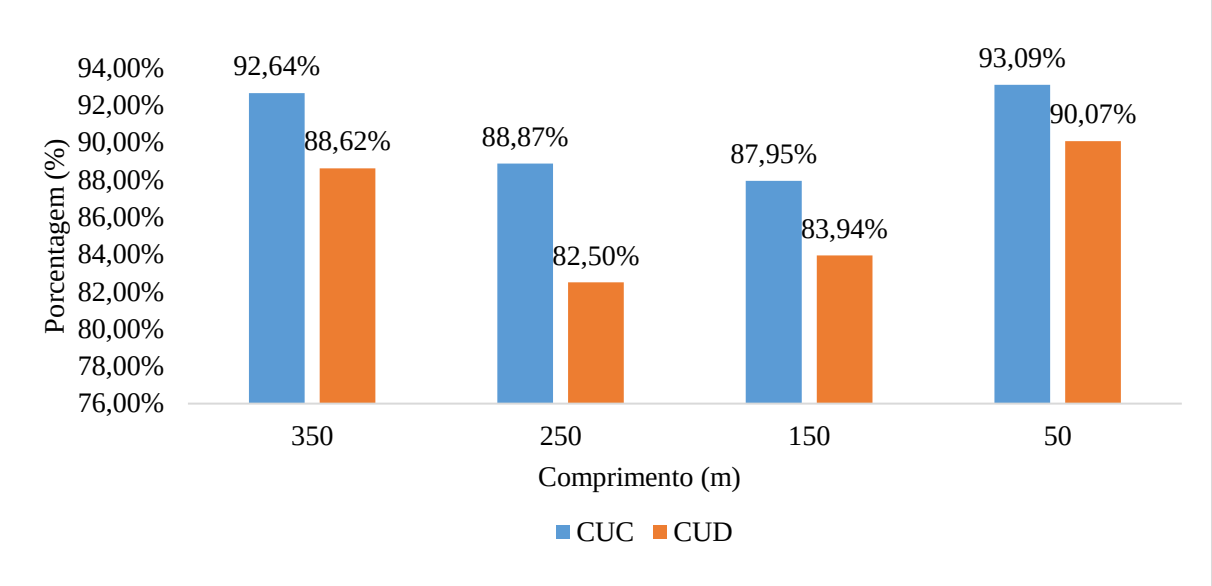
**Figura 27.** Lâminas médias coletadas ao longo dos 400 metros, nos pontos 1, 2, 3 e 4, a linha apresentada na horizontal corresponde a lâmina aplicada equivalente a 27 mm.




Fonte: autor (2023).

De acordo com Addink et al. (1983), os coeficientes de uniformidade de aplicação de água de um equipamento autopropelido decrescem, caso a velocidade de deslocamento do carro aspersor ao longo do carreador não seja constante. Estes autores relatam que na literatura foram encontrados valores extremos de até 60% de variação na velocidade de deslocamento de autopropelidos. Essa situação apresentada na figura 27, ressalta que a alta velocidade pode contribuir para uma baixa uniformidade de distribuição da lâmina em um equipamento de irrigação.

**Figura 28.** Resultados do CUC obtidos no levantamento do Autopropelido.




Fonte: Autor (2023).

Os valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) verificados nos testes, foram superiores a 80% de eficiência. Estes valores são similares aos obtidos por Silva e Pereira (1996); exceto para o equipamento quatro. Os valores de CUC determinados indicam uma boa uniformidade de irrigação para estes sistemas, tendo em vista a recomendação apresentada por Keller e Bliesner (1990), no qual, sob condições de vento moderado a fraco, os valores típicos de CUC para autopropelido devem estar acima de 70%.

No geral, o espaçamento entre carreadores (largura de faixa) adotados no campo estavam dentro da norma do fabricante, ou seja, um maior espaçamento entre carreadores possibilitaria uma maior uniformidade de aplicação da água, principalmente o ponto 1 e 2 ficou acima da média de aplicação, os pontos 3 e 4, em função da menor sobreposição de

lâminas, então a metodologia aplicada ao ensaio foi realizada em um horário de maior velocidade do vento.

SILVA et al. (1997) afirmam que frequentemente é necessário avaliar o desempenho de um sistema de irrigação através da determinação dos coeficientes, a fim de determinar sua aplicabilidade em certas condições.

## 6. CONCLUSÃO

O sistema linear foi classificado como bom e apresentou CUC de 89,19, o valor de CUD foi de 81,19%; o autopropelido apresentou um CUC de 82,21% e CUD foi de 78,52%, considerados respectivamente como bom.

A recomendação para melhorar os valores de CUC e CUD no sistema linear, é preciso realizar o mapa de alocação dos bocais de distribuição dos emissores para os lances corretos, pois foi encontrado bocais de 22 e 22,5 milímetros em lances.

Quanto ao sistema autopropelido, é preciso avaliar o by-pass, já que a velocidade de recolhimento da mangueira está sendo feita de forma manual, o recomendado é inserir o método de recolhimento controlada por válvulas eletrônicas contidas no sistema que vem de fábrica.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDINK, J. W. Et al. Desing, and operation of sprinkler systems. In: JENSEN, M. E. (Ed.) Design and operation of farm irrigation systems. St. Joseph: Transactions of American Society of Agricultural Engineers, 1983. P. 621-658.

ALENCAR, C. A. B.et al. Irrigação de pastagem: atualidade e recomendações para uso e manejo. R. Bras. Zootec., Viçosa, v. 38, 2009.

ANA (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS). Atlas de Irrigação: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 2017, 86p.

AQUINO, R. F. Análise do desempenho e da uniformidade de aplicação de água do aspersor Rain Bird® LF1200™. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola. Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG. 103p., 2006.

AZEVEDO, C. A. V. De; PORDEUS, R. V.; SILVEIRA, J. I.; LIMA, V. L. A. De; DANTAS NETO, J. influência da lâmina requerida no desempenho da irrigação por sulco. irriga, *[S. L.]*, v. 8, n. 1, p. 51–62, 2003.

BERNARDO, S. Manual de irrigação. 5 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1989. 596 p.

BERNARDO, S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, D.D.; SOARES, A.A. Manual de Irrigação. 9. Ed. Ed. UFV. 2019. 545p

BERNARDO, S.; SOARES, A. S.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 2009. 49p.

CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkling. Berkeley: California Agricultural Station. 1942. 124p. Bulletin, 670.

COELHO, A. C. D.; LOPES, A. B. Avaliação da prática de gerenciamento de resultados na apuração de lucro por companhias abertas brasileiras conforme seu grau de alavancagem financeira. Revista de Administração Contemporânea**,** v. 11, p. 121-144, 2007.

PAOLINELLI, A.; NETO, D.; MANTOVANI, E.C. Diferentes abordagens sobre agricultura irrigada no Brasil: técnica e cultura - Piracicaba: ESALQ - USP, 2021. 598 p.: il. - - (Cátedra Luiz de Queiroz).

DRUMOND, L. C. D. Aplicação de água residuária de suinocultura por aspersão em malha: desempenho hidráulico e produção de matéria seca de Tifton 85. 2003, 102f. Tese

(Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

FARIAS, C.H. de A.; FERNANDES, P.D.; AZEVEDO, H.M.; DANTAS NETO, J. Índices de crescimento da cana-de-açúcar irrigada e de sequeiro no Estado da Paraíba. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.12, p.356-362, 2008a.

FARIAS, C.H.A.; FERNANDES, P.D.; DANTAS NETO, J.Y.; GHEYI, H.R. Eficiência no uso da água na cana-de-açúcar sob diferentes lâminas de irrigação e níveis de zinco no litoral paraibano. Engenharia Agrícola, Botucatu, v.28, n.3, p.494-506, 2008.

FOLEGATTI, M. V.; PESSOA, P. C. S.; PAZ, V. P. S. Avaliação do desempenho de um pivô central de grande porte e baixa pressão. Scientia Agricola, Piracicaba, v. 55, n. 1, p. 119-127, abr. 1998.

FRIZZONE, Irrigação por aspersão, uniformidade e eficiência, 1992.

FRIZZONE, J.A. Irrigação por aspersão. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53p.

GOMES, H. P. Engenharia de irrigação. João Pessoa: Ed. Universitária/UFPB, 1994. 344p.

KELLER, J., BLIESNER, R. D. Sprinkle, and trickle irrigation. New York: Avibook, 1990. 649 p.

KELLER, J.; BLIESNER, R. D. Sprinkler, and trickle irrigation. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KINCAID, D. C.; SOLOMON, K.H.; OLIPHANT, J.C. Drop size distributions for irrigation sprinklers. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.39, n.3, p.839-45, 1996.

JACOMINE, P. K. T; CAVALCANTI, A. C; PESSOA, S. C. P; SILVEIRA, C O. Levantamento exploratório – reconhecimento de solos do Estado de Alagoas. Boletim técnico, 35 série pedologia: Recife, EMBRAPA, centro de pesquisas pedológicas. SUDENE, DRN, 1975.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. 3 eds. Atual. Viçosa-MG, Ed. UFV, p. 355, 2009.

MANTOVANI, E. C.; Programa de Avaliação de Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG. UFV. 2001.

MEDEIROS, M. G. A.; MATOS, J. A.; AZEVEDO, C. A. V. De; DANTAS NETO, J. Influência de fatores climáticos na eficiência potencial de aplicação de água do microaspersor Naam 7110 em condições de campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., Lavras, 1998.

MENDONZA, C. J. C.; FRIZZONE, J. A. Economia de energia em irrigação por pivô central em função da melhoria na uniformidade da distribuição de água. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, Fortaleza, CE. 2012. V. 6, n.3, p. 184-197.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. Plano setorial para adaptação à mudança do clima e baixa emissão de carbono na agropecuária com vistas ao desenvolvimento sustentável (2020-2030): visão estratégica para um novo ciclo / Secretaria de Inovação, Desenvolvimento Rural e Irrigação. Brasília: Mapa, 2021.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL. Polos de Irrigação. Brasília: MDR, 2020a. Disponível em: https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/irrigacao/polos-de-irrigacao. Acesso em: 2 dez. 2020.

NETTO, A. O. A; BASTOS, E. A. Princípios Agronômicos da Irrigação. Embrapa, Brasília, 2013. 262p.

ORTÍZ, J. N.; TARJUELO, J. M.; JUAN, J. A. Characterization of evaporation and drift losses with center pivots. Agricultural Water Management, v.96, p.1541-1546, 2009.

POSTEL, S. Pillar of Sand. World Watch Books. Norton & Company, New York/London. 1999.

PRADO, G.; COLOMBO, A.; BIAGIONI, P. F. Análise da uniformidade de aplicação de água pelo aspersor PLONA-RL400 em sistemas autopropelidos de irrigação.

RESENDE, R. S.; CASARINI, E.; FOLEGATTI, M. V.; COELHO, R. D. Ocorrência de entupimento de origem biológica em sistema de irrigação por gotejamento. Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambient. 2001, vol.5, n.1, pp.156-160.

AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. Anais... Sorocaba: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1995. P.218-222.cola, Jaboticabal, v.27, n.2, p.346-353, 2007.

SCALOPPI, E.J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.12, n.139, p.54-62, 1986.

SIGINER, I. Spatial water distribution in sprinkler irrigation. In: Hillel, D. Ed. Advances in Irrigation. Academic Press. 4: 119 – 165. 1987.

SILVA, D. D.; RAMOS, M. M.; MARTINEZ, M.A.; DENÍCULI, W. Uniformidade de Distribuição de Água em Sistemas de Aspersão, com Utilização de Aspersor Fixo com placa Defletora Auxiliar. Engenharia Agrícola., V.5, n.4, p. 281-292, 1997.

SILVA. E.M., AZEVEDO. J. **A**., LIMA. J.O.F.W – análise de desempenho da irrigação.

STONE. L.F; Irrigação por aspersão, Embrapa Arroz e feijão. 2021.

TESTELAF, R. Irrigação: Métodos, sistemas e aplicações, 2017.