



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U. nº 198, de 14/10/2016
AELBRA EDUCAÇÃO SUPERIOR - GRADUAÇÃO E PÓS-GRADUAÇÃO S.A.

ÍTALO DE CASTRO PEREIRA

DETERMINAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE UM SISTEMA
DE IRRIGAÇÃO TIPO PIVÔ CENTRAL: ESTUDO DE CASO NA FAZENDA ILLA EM
PORTO NACIONAL-TO.

PALMAS, TO
2021

ÍTALO DE CASTRO PEREIRA

DETERMINAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE UM SISTEMA
DE IRRIGAÇÃO TIPO PIVÔ CENTRAL: ESTUDO DE CASO NA FAZENDA ILLA EM
PORTO NACIONAL-TO.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
requisito parcial para aprovação no curso bacharelado
em Agronomia do Centro Universitário Luterano de
Palmas - CEULP/ULBRA.

Orientador Prof^o. Me. Benjamim Carvalho Lima Junior

PALMAS, TO
2021

ÍTALO DE CASTRO PEREIRA

DETERMINAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DE UM SISTEMA
DE IRRIGAÇÃO TIPO PIVÔ CENTRAL: ESTUDO DE CASO NA FAZENDA ILLA EM
PORTO NACIONAL-TO.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como
requisito parcial para aprovação no curso bacharelado
em Agronomia do Centro Universitário Luterano de
Palmas - CEULP/ULBRA.

Orientador Profº. Me. Benjamim Carvalho Lima Junior

Aprovado em: _____/_____/_____

BANCA EXAMINADORA

Profº Me. Benjamim Carvalho Lima Junior
Engenheiro Agrícola
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP ULBRA

Profº Drº Danilo Marcelo Aires dos Santos
Engenheiro Agrônomo
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP ULBRA

Profª Drª Michele Ribeiro Ramos
Engenheira Agrônoma
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP ULBRA

PALMAS, TO
2021

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a Deus, aos meus avôs Arthur e Francisco (in memoriam), as minhas avós Beatriz e Dalva (in memoriam) e ao tio Tertim (in memoriam) os quais juntos com seus filhos e filhas lavraram a terra incansavelmente para que ela fosse cada vez mais produtiva, aos meus pais e ao meu irmão, com todo amor e gratidão.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da minha vida e pela graça concedida por mais essa vitória. Pelo amor e pela misericórdia derramada sobre a minha vida, bem como por iluminar a minha mente nos momentos difíceis, dando-me força e coragem para seguir. Obrigado meu Deus.

Aos meus pais, José e Terezinha, que com humildade e honestidade fizeram-me melhor, me incentivaram a cada momento e não permitiram que eu desistisse. Ao senhor papai e a senhora mamãe todo o meu amor e a minha gratidão.

Ao meu irmão Vinícius pelo apoio incondicional comigo. Aos familiares por todo apoio.

Ao meu orientador Eng^o Agrícola Prof^o Me. Benjamim Carvalho Lima Junior por toda paciência e auxílio para elaboração deste trabalho.

Ao produtor rural pela disponibilidade da área rural para realização desse estudo.

A todos os professores pelos ensinamentos transmitidos durante toda a minha jornada e que me ajudaram a construir os conhecimentos necessários para o exercício da profissão.

Aos amigos e colegas de graduação, que compartilharam dos inúmeros desafios que enfrentamos, sempre com o espírito colaborativo.

As turmas do curso de Farmácia que conheci durante essa trajetória, as quais me deram muita força, a minha gratidão a todos vocês.

Ao Engenheiro Agrônomo Professor Dr^o Otávio Neto e a Amanda, do Estado de Sergipe, pela força a mim estendida e pelo conhecimento compartilhado.

A todas as pessoas que fizeram parte desta etapa da minha vida. Gratidão!

RESUMO

Irrigação é uma prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as culturas. A tecnologia de irrigação quando bem instalada e utilizada transforma o meio rural, tanto economicamente quanto socialmente, oferece uma maior rentabilidade ao produtor rural. A aferição do desempenho de sistemas de irrigação pivô central não é comum no manejo da agricultura irrigada no Brasil. Esse hábito e cenário da agricultura irrigada faz com que o irrigante desconheça a lâmina real aplicada na cultura, visto que vários fatores influenciam na uniformidade da lâmina de irrigação. O pivô central foi escolhido para a execução desse estudo porque é o sistema de irrigação que vem se consolidando como a melhor alternativa para a irrigação de grandes áreas. Contudo, esse equipamento demanda alto consumo de água e energia elétrica. Partindo desse pressuposto esse trabalho procurou determinar a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central na Fazenda Illa no município de Porto Nacional-TO, utilizando a metodologia da ISO 11545:2016 da Associação Brasileira de Normas Técnicas e posteriormente foi calculado os Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE). O equipamento apresentou coeficientes de uniformidade de distribuição CUC de 58,5%, CUD de 46,9% e CUE 48%, valores esses segundo classificação da ABNT como inaceitável e apenas 40% da área foi adequadamente irrigada pelo sistema de irrigação. Faz-se necessário reparos e manutenção do sistema de irrigação e buscar inspeções constantes para detectar possíveis falhas na operação do equipamento.

Palavras chave: Uniformidade, Pivô Central, Irrigação.

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1: Resultados encontrados CUC, CUD, CUE e Pad. _____	35
Tabela 2: Classificação dos coeficientes CUC, CUD e CUE. _____	36

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Canal e ponto de captação de água (a); Estação de bombeamento (b) _____	26
Figura 2: Aspensor Senninger (a); Aspensor Asfix – Fabrimar (b). _____	27
Figura 3: Medições e alinhamento entre coletores (a); Disposição de coletores na área em estudo (b). _____	28
Figura 4: Disposição das linhas A e B de coletores em relação aos aspersores. _____	28
Figura 5: equipamentos do pivô central na área de estudo. _____	33
Figura 6: Superfície do solo após a realização do ensaio (a e b) _____	35
Figura 7: Desuniformidade no crescimento da cultura (a); Excesso de aplicação de água (b). ____	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Resultados velocidade do vento e temperatura no ensaio de precipitação _____	31
Gráfico 2: Distribuição de água coletada na linha A. _____	32
Gráfico 3: Distribuição de água coletada na linha B. _____	32
Gráfico 4: Lâminas médias obtidas em cada lance do pivô central. _____	34

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT- Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

CUD - Coeficiente de Uniformidade e Distribuição

CUE - Coeficiente de Uniformidade Estatístico

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

ISO - Organização Internacional de Normalização

Pad - Percentual de área adequadamente irrigada

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 PROBLEMA	14
3 JUSTIFICATIVA	15
4 HIPÓTESES	16
5 OBJETIVOS	17
5.1 Geral	17
5.2 Específicos	17
6 REFERENCIAL TEÓRICO	18
6.1 Irrigação agrícola	18
6.2 Hidrologia brasileira	20
6.3 Demanda hídrica e panorama da irrigação	21
6.4 Sistema de irrigação	21
6.5 Fatores que afetam a uniformidade de distribuição de água	22
6.5.1 Influências dos aspectos climáticos na irrigação	22
6.5.2 Influências dos aspectos não climáticos na irrigação	23
6.6 Avaliação de sistemas de irrigação	24
7 MATERIAIS E MÉTODOS	26
7.1 Local de realização do estudo	26
7.2 Equipamento de Irrigação	26
7.3 Ensaio de precipitação	27
7.4 Coeficientes matemáticos	29
7.4.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)	29
7.4.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)	29
7.4.3 Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE)	29
7.4.4 Percentual de área adequadamente irrigada (Pad)	30
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
9 CONSIDERAÇÕES FINAIS	39
10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

1 INTRODUÇÃO

Irrigação é uma prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as culturas. É importante destacar que a irrigação tem sido uma das práticas mais utilizadas na agricultura tecnificada, com objetivo de aumentar a produtividade, porém a otimização em relação à água aplicada está ligada a concepção e dimensionamento adequados do sistema de irrigação, da operação e manejo que vise uma uniformidade de aplicação de água adequada.

A modernização do sistema de irrigação tem ocorrido em grande escala, principalmente, em sistemas de pivô central. Novas tecnologias foram incorporadas, como sistema de propulsão elétrica, vãos de grande comprimento, tubulação aérea de maior diâmetro e comprimento, articulações flexíveis entre torres. Com o aumento dos custos da energia, foram introduzidos os emissores de baixa pressão fixos, posteriormente o sistema LEPA, e mais recentemente foram introduzidos os sprays rotativos. (FOLEGATTI, et al, 1998)

A tecnologia de irrigação quando bem instalada e utilizada transforma o meio rural, tanto economicamente quanto socialmente, oferece uma maior rentabilidade ao produtor rural. Porém o uso desse conjunto de tecnologias de irrigação requer periódicas avaliações do sistema, Rocha (1999) citou que na irrigação por aspersão, a uniformidade da irrigação é um dos parâmetros principais a serem avaliados, pois expressa a qualidade do sistema de irrigação.

A uniformidade de aplicação de água é um parâmetro usado para medir a variabilidade de água aplicada pelo método de irrigação (Bernardo et al., 2019). De acordo com Mantovani et al. (2009), este parâmetro é um dos principais para o diagnóstico da situação de funcionamento do sistema, sendo, inclusive, um dos componentes para determinação do nível de eficiência no qual o sistema trabalha e pelo qual a lâmina aplicada deverá ser corrigida para fornecer água de modo a permitir o pleno desenvolvimento da cultura.

A metodologia pioneira de aferição da uniformidade foi proposta por Christiansen em 1942 utilizando-se de um desvio médio absoluto como medida de dispersão, denominado de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) aceitando-se valores acima de 80%. Wilcox e Swailes (1947) cita o desvio-padrão como medida de dispersão, sendo o Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE) para o qual se aceitam valores

acima de 75%. Já Criddle et al. (1956) fomentaram o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) como nova forma de avaliação da uniformidade, onde a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada eram consideradas, aceitando-se valores acima de 68%.

Desta forma, objetivou-se no presente estudo determinar a uniformidade de distribuição de água de um sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central com finalidade de interpretar os resultados e propor melhorias para o sistema. Também é dado um enfoque geral sobre a otimização da irrigação visando sua manutenção, à economia de água e à redução dos impactos ambientais decorrentes da irrigação na área de estudo.

2 PROBLEMA

A determinação da uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação não tem sido uma prática tão usual para o manejo da agricultura irrigada. Esse fato faz com que o irrigante desconheça a real aplicação de água do seu equipamento em operação, visto que vários fatores climáticos relacionados ao tempo e não climáticos pertencente ao equipamento influenciam na uniformidade da lâmina de irrigação.

Diante desse contexto o sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central na área de estudo apresenta uma satisfatória uniformidade de distribuição de água? Qual é o valor dos coeficientes de uniformidade de distribuição do equipamento? Quanto é o percentual de área adequadamente irrigada?

3 JUSTIFICATIVA

O manejo do sistema de irrigação está ligado ao conhecimento de parâmetros de desempenho, definidos em determinações de campo como a uniformidade de aplicação de água, sendo considerados fundamentais para tomadas de decisões em relação ao diagnóstico do sistema.

Com a aferição do sistema de irrigação tem-se o conhecimento da qualidade da irrigação que está sendo implementada, a partir de uma gama de coeficientes de uniformidade de aplicação de água, os quais expressam a variabilidade de distribuição aplicada pelo sistema de irrigação. Destaca-se também que as tecnologias de irrigação têm como escopo principal a garantia da sustentabilidade ambiental.

Sendo assim, justifica-se esse trabalho a determinação da uniformidade de aplicação da água pelo sistema de irrigação tipo pivô central na Fazenda Illa, o qual influencia diretamente na produtividade da cultura, na conservação de água e racionalização de energia elétrica decorrente do bombeamento e operações do equipamento.

4 HIPÓTESES

A manutenção dos equipamentos de irrigação por pivô central na área de estudo propicia uma satisfatória uniformidade de distribuição das lâminas aplicadas.

A determinação da uniformidade de distribuição de água propicia o manejo adequado da irrigação na área de estudo.

A adoção de novas tecnologias, condutas e procedimentos melhora a eficiência do uso da água.

5 OBJETIVOS

5.1 Geral

Determinar a uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por aspersão tipo pivô central, na Fazenda Illa município de Porto Nacional-TO.

5.2 Específicos

- Realizar ensaio de uniformidade de distribuição de água, aplicando os coeficientes: Coeficiente de Distribuição de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE).
- Comparar os resultados de uniformidade de distribuição de água, encontrados pelos diferentes métodos;
- Determinar a área adequadamente irrigada do sistema (PAD).

6 REFERENCIAL TEÓRICO

6.1 Irrigação agrícola

A irrigação agrícola contribuiu significativamente na expansão de diversas civilizações, garantindo o suprimento de alimentos. Registros históricos apontam o desenvolvimento de civilizações nas proximidades de rios como o Rio Nilo, no Egito, por volta de 6.000 a.C., Rio Tigres e Eufrates, na Mesopotâmia, por volta de 4.000 a.C., e Rio Amarelo, na China por volta de 3.000 a.C., no continente americano, os índios também utilizavam a irrigação a mais de dois mil anos atrás. No século XX, evidencia-se que o governo americano construiu grandes represas para fomentar a irrigação no país, e no início do século XXI, Índia, China, Estados Unidos e Paquistão eram os países com a maior extensão de terras irrigadas no mundo. (LARA, 2014)

“A irrigação é uma técnica milenar que, nos últimos anos, tem-se desenvolvido acentuadamente, apresentando equipamentos e sistemas para as mais distintas condições. A história da irrigação confunde-se com a do desenvolvimento e prosperidade econômica dos povos. As civilizações antigas se desenvolveram em regiões áridas, onde a produção só era possível graças à irrigação”. (BERNARDO, et al, 2019, p.13)

No Brasil a prática da irrigação tem-se registros em 1589, pelos jesuítas na antiga Fazenda Santa Cruz no estado do Rio de Janeiro. Existem registros também nas regiões mais áridas do nordeste brasileiro e nos estados de Minas Gerais e São Paulo, onde eram irrigados em culturas de cana-de-açúcar, batatinha, pomares e hortas. Nos cafezais, a irrigação iniciou-se nos anos de 1950 com a utilização da aspersão, que se destacou principalmente nas terras férteis do estado de São Paulo. (CODEVASF, 2018)

O pivô central foi construído pela primeira vez em 1948. Em 1949, seu inventor Frank L. Zybach, submeteu o invento para ser analisado, o qual foi finalmente patenteadado em 1952 no estado Colorado nos Estados Unidos da América. Inicialmente eram máquinas

simples acionadas por mecanismos de pistões movidos hidráulicamente. O inventor produziu unidades até 1954, quando vendeu os direitos de fabricação para uma empresa americana, localizada no estado de Nebraska. A partir de 1968, outras empresas iniciaram a fabricação de pivôs e atualmente várias disputam o mercado mundial. O pivô central popularizou-se em todo o mundo, sendo o sistema de irrigação de maior aceitação em larga escala (KLEMP e ZEILHOFER, 2009).

No Brasil o primeiro pivô central lançado foi o Valmatic em 1979, pela associação das empresas Asbrasil e Valmont (EUA). O sistema foi difundido no Brasil na década de 1970, e desde então tem proporcionado um significativo avanço na agricultura irrigada no país (SOUZA, 2006).

Na região central do Brasil esse sistema vem sendo o mais utilizado nos últimos anos pelas grandes empresas agrícolas; essa preferência deve-se ao alto nível de automação, tornando o bastante versátil na irrigação em formato circular, podendo operar em área total ou parcial, conforme o manejo da cultura ou da área. (BARRETO et al., 2004)

É notável que a grande aceitabilidade do sistema por pivô central deve-se exclusivamente a vários fatores, sendo eles: a necessidade mínima de mão de obra, a facilidade de operação, boa adaptabilidade a terrenos planos e ondulados de até 20%, e por último a opção de aplicação de fertilizantes via lâmina de irrigação, conhecida como fertirrigação. (KLEMP e ZEILHOFER, 2009)

A irrigação é importante para o crescimento da agricultura mundial, pois possibilita o aumento da produção agrícola, conseqüentemente uma maior rentabilidade ao produtor rural, além de ter um grande impacto positivo na área social, pois se amplia as oportunidades de empregos diretos e indiretos.

Segundo Bernardo et. al, 2019, na agricultura irrigada é importante destacar que com o avanço da tecnologia em irrigação, tem a exigência de conhecimento teórico e prático por parte do operador, e que essas tecnologias têm sido consolidadas com intuito de garantir a sustentabilidade, preservação do meio ambiente e dos recursos naturais.

A agricultura irrigada é uma prática que permite obter aumentos significativos na produtividade nas mais diferenciadas culturas, favorecendo a redução da expansão de plantios em áreas de cobertura vegetal natural, prolongando a duração do período anual de plantios, assim como intensificar a produção agrícola. (LANDAU et al, 2017)

A irrigação é uma aplicação artificial, que deve ser uniforme e oportuna de uma lâmina d'água, a qual é potencialmente distribuída na zona efetiva das raízes ou na área total da cultura, visa repor a água consumida pelas plantas, a que é perdida por evaporação, transpiração e por infiltração profunda de forma a garantir condições ideais ao bom desenvolvimento das cultivares. É importante destacar que a irrigação não é apenas molhar o solo, e sim quando se calcula a água que é requerida para uma determinada cultura e a dispõe de forma planejada e o mais regularmente possível. (PEREIRA, 2014)

6.2 Hidrologia brasileira

O Brasil possui uma boa quantidade de água, estimada em cerca de 12% da disponibilidade de água doce do planeta, podendo chegar até 18% se considerado as vazões das bacias estrangeiras que adentram no país. É importante destacar que essa distribuição não é de forma equilibrada no país, ou seja, a região norte acumula aproximadamente 80% da quantidade de água disponível e tem representatividade de apenas 5% da população brasileira. Evidencia-se também que as regiões com proximidades ao oceano atlântico apresentam mais de 45% da população brasileira, porém, menos de 3% dos recursos hídricos do país. (LIMA e LIMA, 2019)

“O Brasil é um dos países que possuem a maior disponibilidade de água doce do mundo. Isso traz um aparente conforto, porém os recursos hídricos estão distribuídos de forma desigual no território, espacial e temporalmente. Esses fatores, somados aos usos intensivos da água pelas diferentes atividades econômicas nas bacias hidrográficas brasileiras e os problemas de qualidade de água decorrentes da poluição hídrica, exigem ações de gestão dos recursos hídricos cada vez mais efetivas”. (ANA, 2019)

O uso da água da agricultura irrigada é classificado como de uso consuntivo, ou seja, a irrigação altera suas condições na medida em que é retirada dos corpos hídricos, sendo caracterizado pelas baixas taxas de retorno de água aos mananciais e das expressivas vazões captadas. Observa-se que a instalação de projetos de irrigação corrobora para a

existência ou intensificação de conflitos com outros usuários pelo uso da água, em especial, o setor elétrico e de navegação. (FREITAS et al, 2003)

6.3 Demanda hídrica e panorama da irrigação

De acordo com a ANA (2019), no Brasil foram retirados 969 mil L/s⁻¹ para irrigar uma área de 6,95 milhões de hectares, enquanto que a projeção para 2030 é estimada para 1,13 milhão L/s⁻¹, irrigando uma área de aproximadamente 10,1 milhões de hectares. No mundo, a agricultura irrigada é responsável por cerca de 40% de toda produção, viabilizando produzir fisicamente, em uma mesma área, até quatro vezes mais que a agricultura de sequeiro. (POSTEL, 2000)

Com intuito de retratar a importância da agricultura irrigada na produção global, seria necessário expandir a área de sequeiro em cerca de 250 milhões de hectares para se obter uma produção equivalente a produção média adicional que é proveniente de áreas irrigadas. (SOJKA et al, 2006)

Existe uma tendência natural de aumento do uso da água no futuro, seja pelo aumento populacional, culminando numa maior necessidade por alimentos, seja pela disponibilidade de terras com aptidão para uso na agricultura irrigada estimadas em 470 milhões de hectares. O aumento na área irrigada é justificável devido estar relacionados à política de crédito rural do governo, ao menor custeio da tecnologia dos equipamentos de irrigação e principalmente a firmeza do agronegócio nacional, o qual apresenta e permite uma segurança nos investimentos a serem realizados. (CHRISTOFIDIS, 2002)

O sucesso de resultados expressivos em relação à agricultura irrigada não seria alcançável se não fosse pela aplicação artificial de água no solo para suprir a demanda de água das culturas. Todavia, exige-se conhecimento técnico, pois se trata de uma área multidisciplinar, a qual envolve física do solo, agrometeorologia, fitotecnia, fisiologia vegetal, hidráulica, topografia, fertilidade e dentre outras, que infelizmente são ignoradas na maioria das vezes dentro de um projeto de irrigação. (NETTO E BASTOS, 2013)

6.4 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação é caracterizado por um conjunto de equipamentos e instrumentos que viabilizam a disposição da água nas culturas. De acordo com Amendola (2016), o pivô central proporcionou a automação do processo de aplicação de água nas culturas artificialmente, permitindo a irrigação em grandes áreas com um custo menor de implantação, ressalta ainda que dentre os sistemas existentes é o que mais oferta tecnológica agregada. Destaca-se a importância no momento de escolha do método e sistema de irrigação levar em consideração: qual é o mais adequado a área, aos aspectos ambientais e a viabilidade econômica e técnica.

Schmidt et. al (2004) destaca que o sistema por pivô central apresenta fácil operação, alta eficiência (cerca de 90%) no uso da água e baixo custo operacional. No Brasil tem-se evidenciado aumento no uso de sistemas de irrigação por pivô central com destaque as regiões centro-oeste e sudeste, apresentando maior expansão desta tecnologia. Esse aumento deve-se principalmente aos seguintes atributos: ótima uniformidade de distribuição de água considerando um bom dimensionamento de projeto, manutenção, facilidade no controle da lâmina d'água aplicada, baixa mão de obra, usos múltiplos como a fertirrigação e facilidade nos tratos culturais.

Observa-se que existem muitos fatores que influenciam no desempenho de um pivô central em operação e monitoramentos constantes de seu desempenho e funcionamento, incluindo testes com o conjunto moto bomba, a rede de tubulação e a uniformidade dos emissores são essenciais para que o equipamento esteja operando em condições satisfatórias e a cultura tenha seu desenvolvimento pleno, evitando o aumento no custo de produção e diminuição na produtividade das culturas. (OLIVEIRA et. al, 2004)

6.5 Fatores que afetam a uniformidade de distribuição de água

Segundo Ferreira (2011), os fatores que afetam a uniformidade de distribuição da água podem ser classificados em climáticos e não climáticos. Os fatores climáticos são evaporação, temperatura do ar, umidade relativa e condições locais do vento. Os fatores não climáticos são os relacionados ao equipamento e ao método de avaliação.

6.5.1 Influências dos aspectos climáticos na irrigação

O processo de irrigação não ocorre alheio às condições climáticas da região onde está inserido, se faz preciso compreender estes aspectos para potencializar ou mesmo viabilizar a área que será irrigada, distribuindo a água de maneira mais uniforme e evitando todo o desperdício na irrigação. (BERNARDO, 2019)

A interferência do vento sobre a irrigação por aspersão compromete a distribuição da água realizada pelos emissores e podem gerar grandes distorções da lâmina ao longo da área irrigada. Essa interferência conhecida como deriva, ocorre quando o vento transporta a água para outras áreas, geralmente longe do interesse do produtor ou técnico responsável. Diante dessa situação cabe ao operador do sistema observar a velocidade do vento na área a ser irrigada, dando preferência para horários com menor velocidade, pois assim o operador tende a melhorar a eficiência de aplicação do uso da água. (OLITTA, 1987)

A irrigação por aspersão é muito influenciada pela ação do vento e vários trabalhos de pesquisa têm demonstrado que o aumento da velocidade do vento provoca 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, conseqüentemente, pela diminuição da sobreposição dos jatos de água. (GOMIDE et al., 1980)

A umidade relativa do ar é outro aspecto a ser levado em consideração, pois está também exerce influência marcante no uso da irrigação por aspersão. A umidade relativa consiste na relação entre a quantidade de água existente no ar (umidade absoluta) e a quantidade máxima que poderia haver na mesma temperatura (ponto de saturação). A influência da umidade relativa do ar está relacionada à perda parcial da lâmina de água por evaporação, afetando a eficiência de aplicação. (BERNARDO et. al. 2019)

A distribuição do tamanho de gotas é de extrema importância, visto que gotas maiores são mais resistentes ao arraste e apresentam menor área por unidade de massa e, como consequência, elas são menos afetadas pelas perdas de água por evaporação. Administrar a irrigação no solo sem levar em consideração a perda causada pela evaporação consiste em um problema para os produtores ecologicamente preocupados em edificar um sistema de cultivo inspirado no desenvolvimento sustentável e que prima pelo controle do desperdício hídrico típico da agricultura. (PLAYÁN et al. 2005)

6.5.2 Influências dos aspectos não climáticos na irrigação

Quanto aos fatores não climáticos compreende-se aqueles que não estão sob influência do meio onde o equipamento está instalado, estão relacionados com aspectos mecânicos, como por exemplo, as tubulações e válvulas, característica do aspersor, vazão, tamanho médio das gotas emitidas, comprimento da linha principal e laterais do sistema e outras peças que compõem o sistema de irrigação.

Klar et al. (2001) demonstrou em sua avaliação de dois pivôs centrais antes e depois de realizar a troca das válvulas reguladoras de pressão, sendo os coeficientes iniciais antes da troca das válvulas de 58,5% e 67%, após a substituição das válvulas realizou-se outra medição a qual apresentou um coeficiente de uniformidade e distribuição de 89% e 88%. Realizando os cálculos pode-se perceber um ganho de 30,5% e 21% em uniformidade, esse aumento garante ao produtor rural uma melhor eficiência da irrigação, consequentemente economia de energia, produtividade mais elevadas e a sustentabilidade ambiental conservação da água.

6.6 Avaliação de sistemas de irrigação

Mendonza e Frizzone (2012) verificaram uma correlação positiva entre o aumento da uniformidade e a produtividade, sendo a conclusão que o aumento da uniformidade do sistema de irrigação não só gerava economia, como agregava uma maior produtividade.

Com o crescimento da irrigação existe um aspecto preocupante quanto ao manejo e ao uso eficiente dessa técnica, pois muitos dos produtores podem estar irrigando de forma equivocada, o que pode ocasionar lixiviações de nutrientes, erosões laminares além do desperdício de água e energia, aumentando assim os custos de produção e diminuindo a produtividade, inviabilizando a cultura irrigada em muitas situações. O acompanhamento técnico faz-se necessário não só apenas na implantação do projeto, mas sim no manejo e na avaliação periódica do sistema, em especial em sistemas de irrigação com mais tempo de operação. (NASCIMENTO et al, 2017)

A uniformidade de irrigação apresenta efeito no rendimento das culturas, sendo este um item importantíssimo na operação dos sistemas de irrigação por aspersão. Os parâmetros que expressam a qualidade e desempenho da irrigação devem ser entendidos como decisórios no planejamento e operação dos sistemas de irrigação, pois, quando se aplica a lâmina de irrigação necessária em uma área, sendo está uma lâmina média,

acarretará inevitavelmente o excesso de água em uma área e o déficit em outra. (ZOCOLER et. al. 2001)

A uniformidade afeta a eficiência dos sistemas de irrigação, a qual está relacionada com a quantidade de água necessária ao desenvolvimento e a produtividade do cultivo. Portanto, podemos considerar a uniformidade de aplicação de água pelos sistemas de irrigação uma exigência para a sustentabilidade da agricultura irrigada. (REZENDE et al 2002)

De acordo com Bernardo et al. (2019), relacionando a uniformidade de distribuição de água no equipamento com o consumo de água, existe uma possibilidade de economia de água de 25% quando se eleva o coeficiente de uniformidade de Christiansen de 64,8% para 85,6%.

Keller e Bliesner (1990) sugeriram a porcentagem de área adequada irrigada (Pad), cujo objetivo é calcular a área que recebeu lâmina igual ou superior à demandada, usando para isso o número total de coletores pluviométricos e a lâmina coletada na área de estudo.

Segundo a Embrapa (2002) a melhoria da eficiência de aplicação de água, em métodos de irrigação por aspersão, viabiliza reduções de consumo energético acima de 30%, estudo esse que retrata a importância do produtor e técnico estarem atentos quanto à eficiência do equipamento de irrigação para pautar-se nos princípios da sustentabilidade ambiental, destacando a conservação de água e energia e redução de custos de produção.

7 MATERIAIS E MÉTODOS

7.1 Local de realização do estudo

O experimento foi conduzido na Fazenda Illa no município de Porto Nacional-TO. A classificação do clima de acordo com Kopen para essa região é Aw, sendo essas regiões caracterizadas por um período mais prolongado de estação seca. A precipitação durante a estação das chuvas é normalmente inferior a 1000mm e apenas durante o verão. A captação da água para irrigação é proveniente do Reservatório da Usina Hidrelétrica Luís Eduardo Magalhães (Figura 1).



Figura 1: Canal e ponto de captação de água (a); Estação de bombeamento (b)

7.2 Equipamento de Irrigação

O equipamento de irrigação utilizado para a condução do trabalho foi um sistema de irrigação tipo pivô central com 9 torres, medindo 50 metros cada, totalizando 450m de comprimento de raio e 63,5ha porém no momento da irrigação apenas 8 torres estavam em operação, a primeira torre do pivô estava com os conjuntos de aspersores desmobilizados, ou seja, fora de operação. Com essa característica apresentada pelo pivô central posicionou-se os coletores com início na torre 2.

O raio irrigado no momento da avaliação do equipamento foi de 400 metros, cobrindo uma área de 50ha. O pivô central em estudo apresenta conjuntos de aspersores mistos tipo spray modelo Asfix AF4 combinado com o regulador de pressão Exact 15psi com vazão máxima de 640L/h e aspersores Senninger 8gpm vazão de 114 a 1.817 L/h. As figuras abaixo retratam os aspersores contidos na área de estudo.

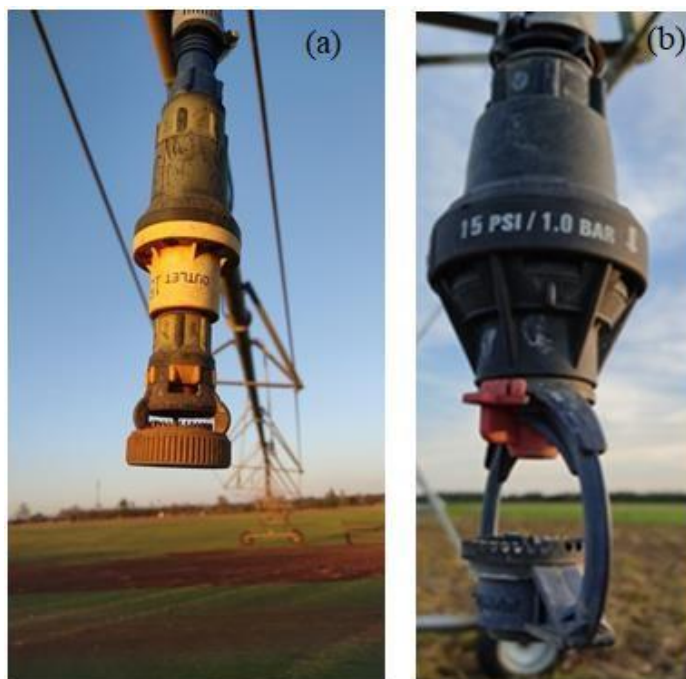


Figura 2: Aspersor Senninger (a); Aspersor Asfix – Fabrimar (b).

7.3 Ensaio de precipitação

O ensaio de precipitação para determinação da uniformidade de distribuição de água por equipamento pivô central teve como referência a ISO 11545:2016 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

Os coletores pluviométricos foram posicionados em paralelos nas respectivas linhas e espaçados entre si em 5 metros (Figura 3a). Os dados climatológicos foram obtidos posteriormente ao ensaio na base de dados do Inmet.

As medições dos volumes coletados em todos os coletores foram realizadas com auxílio de uma proveta volumétrica de 500 ml, 250 ml e 100 ml abaixo apresenta a ilustração da área, angulação entre linhas e disposição dos coletores (Figura 3b).



Figura 3: Medições e alinhamento entre coletores (a); Disposição de coletores na área em estudo (b).

A avaliação da uniformidade do pivô central foi realizada dispondo-se de duas linhas formando uma angulação de 3° entre a linha A e linha B, formando-se um arco de 21m (Figura 4).

O equipamento foi ligado de forma manual pelo operador da fazenda no período noturno às 21h30 e desligado às 5h50, totalizando 8h20 de irrigação na área.



Figura 4: Disposição das linhas A e B de coletores em relação aos aspersores.

7.4 Coeficientes matemáticos

Com intuito de reduzir o consumo e desperdício de água e proporcionar uma melhor eficiência de aplicação, vários autores recomendaram coeficientes para análise da distribuição de água que proporcionou uma melhor adequabilidade dos equipamentos de irrigação. Neste trabalho os cálculos de uniformidade de distribuição e área adequadamente irrigada foram realizados conforme as fórmulas abaixo.

7.4.1 Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

$$CUC = 100 \times \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |L_i - L_m|}{n L_m} \right]$$

Em que: CUC: Coeficiente de Uniformidade, em %;

L_i : Lâmina coletada no i-ésimo coletor, em mm.

L_m : Lâmina média coletada, em mm;

N: número de coletores;

7.4.2 Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)

$$CUD = \left(\frac{L_q}{L_m} \right) \times 100$$

Em que: CUD: Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, em %;

L_q : Média das 25% das observações com menores valores (média do menor quartil);

L_m : Lâmina média coletada, em mm;

7.4.3 Coeficiente de Uniformidade Estatístico (CUE)

$$CUE = 100 \left[1 - \frac{S}{L_m} \right]$$

Em que: CUE: Coeficiente de Uniformidade Estatístico, em %;

S: Desvio padrão dos valores de precipitação, em mm;

Lm: Média geral dos valores da precipitação, em mm.

7.4.4 Percentual de área adequadamente irrigada (Pad)

$$Pad = \frac{Nt_{coletores \geq L_{apli}}}{Nt_{coletores}}$$

Em que: Pad: Percentual de área adequadamente irrigada;

$Nt_{coletores \geq L_{apli}}$: Número total de coletores com lâmina igual ou maior que a lâmina média aplicada;

L_{apli} : Lâmina média aplicada, em mm.

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No dia 22 de agosto de 2021 foi realizada entre 21h30 e 5h50 a coleta das precipitações para determinação da distribuição de aplicação de água no pivô central da área de estudo.

No Gráfico 1 é apresentado dados das condições climáticas. No início do ensaio a temperatura era de 28°C, velocidade do vento 5,8km/h e a umidade relativa do ar de 32%.

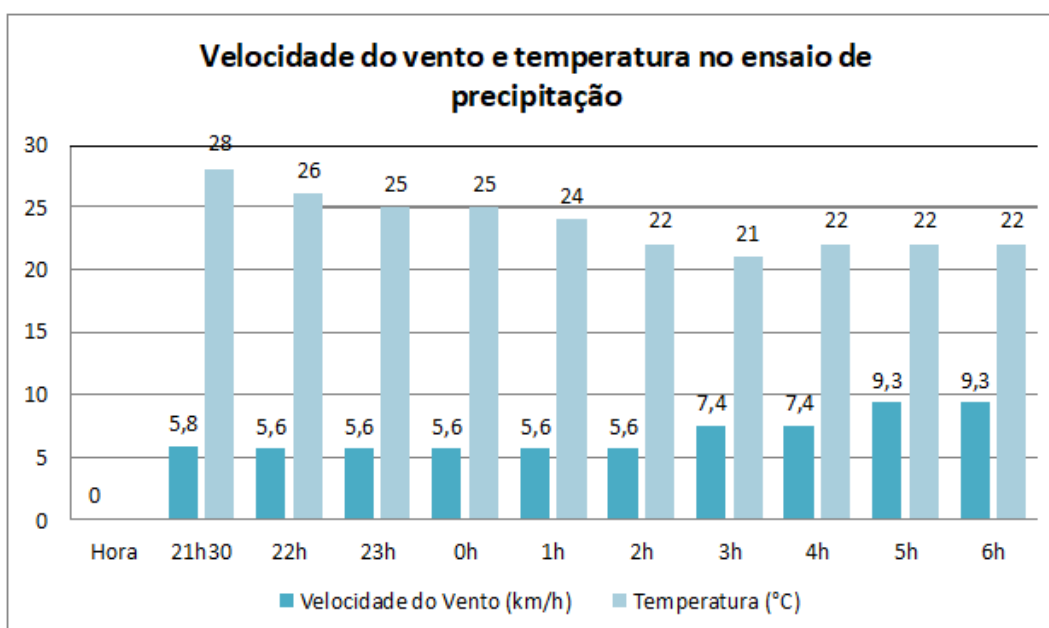


Gráfico 1: Resultados velocidade do vento e temperatura no ensaio de precipitação

Observa-se no Gráfico 1 uma amplitude de 3,7km/h na velocidade do vento entre o início do teste e o término do ensaio. Durante o ensaio constatou-se pouca deriva da lâmina aplicada em decorrência da ação do vento.

Segundo Bernardo et al (2019), a perda por evaporação e arrastamento pelo vento aumenta com a temperatura do ar, com a velocidade do vento, com o fracionamento do jato de água, entre outros fatores. Esses parâmetros são importantes para o manejo do sistema de irrigação, visto que as interferências dos fatores climáticos podem causar redução na uniformidade de distribuição da lâmina aplicada.

Observou-se que temperatura foi diminuindo com o passar das horas, esta variação ocorreu devido o ensaio ter sido realizado ao longo do período noturno, apresentando

amplitude de 6°C entre o início e o término do ensaio (Gráfico 1). É razoável, que as distorções de lâminas de água por influência da temperatura sejam mínimas.

Abaixo é apresentado o comportamento da distribuição dos volumes coletados em mililitros na linha A e B.

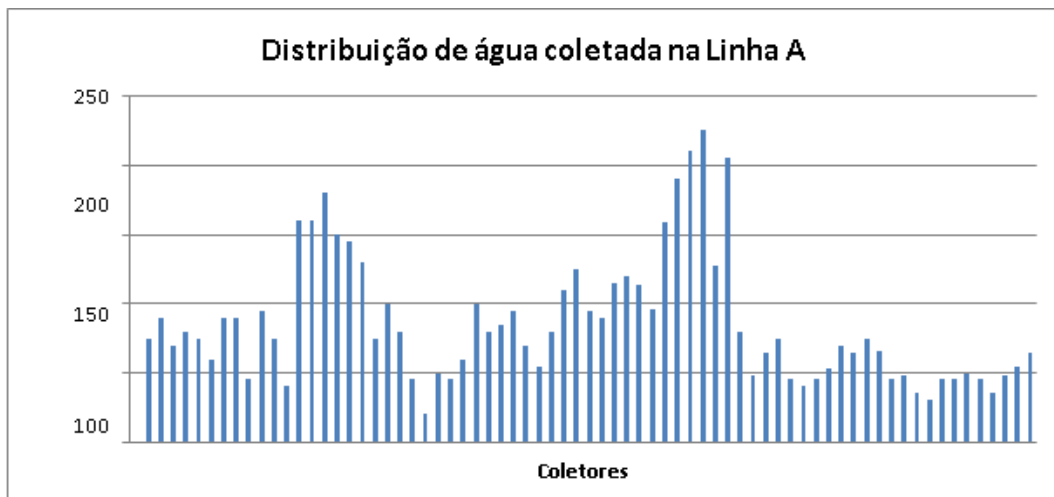


Gráfico 2: Distribuição de água coletada na linha A.

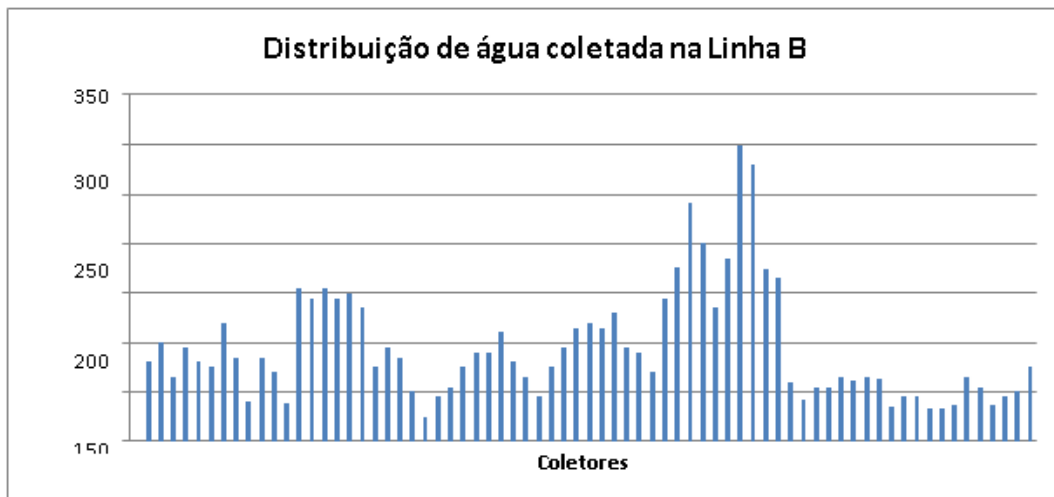


Gráfico 3: Distribuição de água coletada na linha B.

Observa-se no Gráfico 2 e 3 a distribuição de água coletada na linha A e B, uma variação significativa em relação aos volumes coletados, o que demonstra a falta de uniformidade na aplicação e na distribuição de água ao longo do pivô central.

A distribuição de água desuniforme na área de estudo possui múltiplas causas, no momento do ensaio foi perceptível notar alguns aspersores desmobilizados e com fluxo de água sem a devida vedação, vazamentos ao longo do pivô central.



Figura 5: equipamentos do pivô central na área de estudo.

Destaca-se o fato do equipamento ser antigo (Figura 5), acrescentado pelo relato do proprietário de não realizar manutenções periódicas no sistema de irrigação, condição está que contribui na distribuição de água desuniforme. Observou-se também, entupimentos de aspersores e a baixa pressão de serviço no equipamento (Figura 7b).

Abaixo tem o comportamento dos valores médios das lâminas obtidas em todos os lances do pivô central em mm.

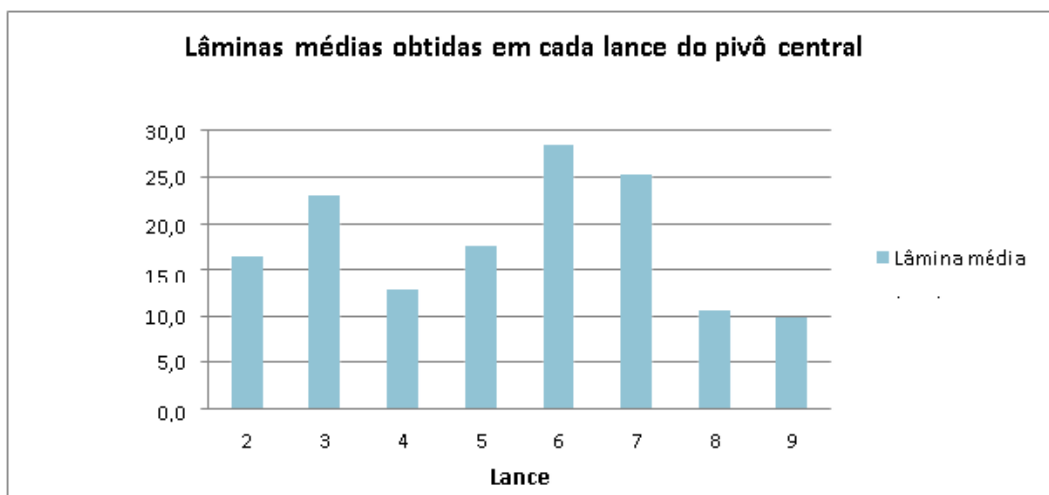


Gráfico 4: Lâminas médias obtidas em cada lance do pivô central.

Observa-se pelo Gráfico 4 que houve uma diferença entre as lâminas médias aplicadas ao longo do pivô central, sendo o lance 6 apresentando uma média de 28,5mm, sendo este o de maior lâmina aplicada de água e o lance 9 com 9,8mm sendo o de menor lâmina.

Segundo Schons (2010) apud Andrade (2021), o excesso de água aplicada representa um aumento no consumo de energia, reduzindo a margem de lucro do produtor, com possíveis impactos na lixiviação de nutrientes e no meio ambiente. O autor destaca ainda que, a inadequação na distribuição incorreta da água, que pode determinar baixos valores de eficiência de irrigação, pode levar a efeitos desfavoráveis como: baixa produtividade por unidade de água aplicada; efeitos prejudiciais ao meio ambiente, entre outros.

No final do ensaio evidencia essa diferença entre lâminas (Figura 6), no qual notou-se um escoamento superficial em algumas regiões dentro da área cultivada, principalmente, nos lances 2, 3 e 6, processo devido a irregularidade da distribuição e aplicação da água (Gráfico 4).

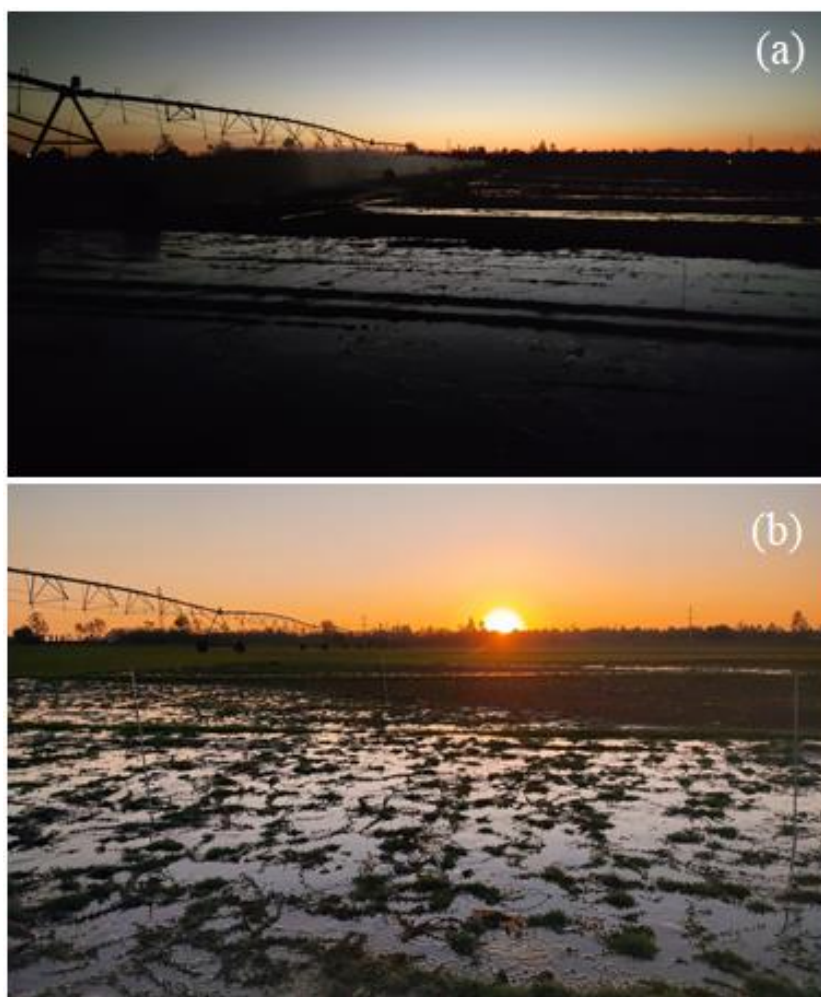


Figura 6: Superfície do solo após a realização do ensaio (a e b)

Na tabela abaixo é apresentado os coeficientes CUC, CUD, CUE e Pad da área de estudo obtidos a partir do ensaio de precipitação.

Tabela 1: Resultados encontrados CUC, CUD, CUE e Pad.

COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE			PERCENTAGEM DE ÁREA ADEQUADAMENTE IRRIGADA
CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)	Pad (%)
58,5	46,9	48	40
Inaceitável	Ruim	Inaceitável	Ruim

Fonte: O autor

Segundo Rezende (2002) o valor referente ao Coeficiente de Uniformidade e Distribuição (CUD) será sempre menor em relação ao Coeficiente de Uniformidade e

Distribuição de Christiansen (CUC). O motivo dessa diferença entre valores é devido ao CUD considerar apenas 25% da área que obteve menores lâminas de água e o CUC considerar 50% da área, portanto essa diferença apresentada é considerada normal.

Abaixo a classificação dos valores de CUC, CUD, e CUE é estabelecida conforme estabelece a ISO 11545:2016 da Associação Brasileira de Normas Técnicas ABNT para avaliação de equipamento de aspersão do tipo pivô central e coeficiente de uniformidade estatístico.

Tabela 2: Classificação dos coeficientes CUC, CUD e CUE.

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

Fonte: ABNT.

O CUC (58,5%) obtido a partir do ensaio de precipitação comparado a Tabela 2 é enquadrado como inaceitável, ou seja, o sistema está operando fora dos padrões de referência, implicando no alto consumo de água e má irrigação da área.

O CUD do pivô central em estudo foi de 46,9% comparado a Tabela 2 é enquadrado como ruim; e o valor de CUE foi de 48%.

Observou-se que o CUC e o CUE apresentaram valores distintos, porém estão relacionados no mesmo enquadramento como inaceitável.

Esses resultados demonstram que as condições em que se encontra o pivô central da área apresenta problemas nas condições de manutenção e operação do equipamento. É importância destacar que qualquer plano de manejo e conservação da água em sistemas de irrigação deve ter como premissa básica o conhecimento da eficiência do equipamento em que se opera por isso a importância da avaliação da uniformidade em pivôs.

Freitas et al (2018), corrobora ao avaliar a uniformidade de distribuição de água de irrigação pelo sistema do tipo pivô central. Em seu estudo foram avaliados os coeficientes de uniformidade CUC, CUH e CUD os quais foram classificados como bons, enquanto

CUE e o CUA, classificados como regulares. Os autores concluíram que nenhum dos coeficientes de uniformidade encontrados apresentou-se na faixa de classificação como excelente, indicando a necessidade de identificação de problemas e realização de melhorias no funcionamento do pivô central.

Observa-se na Tabela 1 o valor de Pad 40% para a área em estudo, enquadrado como ruim. Este valor indica que apenas 40% da área foi adequadamente irrigada pelo sistema de irrigação. Oliveira et al. (2004) ressalta que a ausência ou baixa uniformidade potencializa em áreas sub ou super irrigadas.

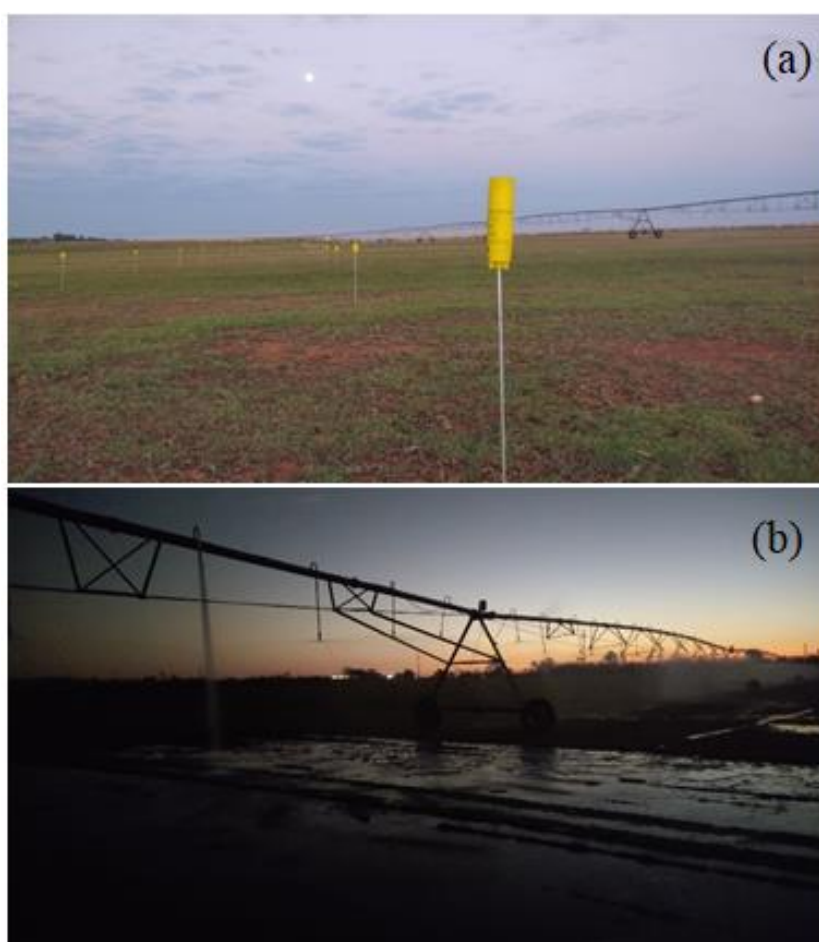


Figura 7: Desuniformidade no crescimento da cultura (a); Excesso de aplicação de água (b).

O valor baixo da uniformidade de distribuição de água da área de estudo pode estar contribuindo no crescimento irregular da cultura (Figura 7a). Processo resultante do excesso de água que ocorre em alguns talhões (Figura 7b).

A determinação da uniformidade de distribuição de água realizada de forma periódica nos sistemas de irrigação oferece subsídios para a tomada de decisão, como o momento correto para realizar a intervenção no equipamento e buscar melhoria da eficiência do mesmo.

Martins et al (2011) destaca que a irrigação em excesso ou deficitária prejudica o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade e a rentabilidade do agricultor. Ainda segundo a autora, é fundamental avaliar os sistemas de irrigação periodicamente, a fim de melhorar a uniformidade de distribuição de água minimizando as perdas de água, de energia elétrica e de fertilizantes.

A baixa eficiência apresentada pelo equipamento de irrigação da área de estudo, presumivelmente, ocasiona um aumento no consumo de energia e água superior do requerido pelo cultivo. O conhecimento em relação à uniformidade de distribuição da água aplicada é essencial para se adotar medidas que permitam a economia de água e energia.

De acordo com Turco et al (2009), a irrigação é responsável por grande parte do consumo de energia no meio rural. Normalmente, o produtor rural não adota um método de controle de irrigação; usualmente, irriga em excesso, temendo que a cultura sofra estresse hídrico, o que pode comprometer a produção. Esse excesso tem como consequência o desperdício de energia elétrica e de água.

Resultante a determinação de distribuição de aplicação de água pelo pivô central da Fazenda Illa, recomenda-se ao proprietário a manutenção imediata para solucionar algum dos seguintes problemas: emissores parcialmente obstruídos ou danificados, ausência de pendurais, vazamentos em vários pontos da linha lateral. Também, um programa monitoramento, a fim, de garantir o uso racional dos recursos hídricos.

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O pivô central estudado se encontra fora dos padrões de eficiência e uniformidade de aplicação de lâmina de água, apresentando valor de CUC (58,5%), enquadrado como inaceitável; CUE (46,9%), enquadrado como ruim; CUD (48%), enquadrado como inaceitável; e Pad enquadrado como ruim, apresentado 40% da área adequadamente irrigada.

De imediato faz-se necessário realizar alguns reparos no sistema de irrigação da área de estudo, como substituição imediata de todos os aspersores e manutenção dos equipamentos de bombeamento e motores do pivô central com intuito de elevar a eficiência de operação, conseqüentemente, um melhor aproveitamento dos recursos hídricos e energéticos.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT NBR ISO 11545:2016. **Equipamentos de irrigação agrícola - Máquinas de irrigação pivô central e linear móvel, equipadas com sprayers ou aspersores - Determinação da uniformidade de distribuição de água.** Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS.: **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual.** Agência Nacional de Águas - ANA. Brasília-DF, 2019.
- AMENDOLA, E. C.: **Evolução da Agricultura Irrigada por pivô central no Noroeste Paulista.** 2016. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Agrônômica, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2016.
- ANDRADE, A. R. S. de.: **Avaliação do desempenho de sistema de irrigação por gotejamento em cultivo de maracujá.** Research, Society and Development, vol. 10, nº. 4, e21710414034, 2021. (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i4.14034>.
- BARRETO, A.N.; SILVA, A.A.G.; BOLFE, E.L. **Irrigação e drenagem na empresa agrícola: impacto ambiental versus sustentabilidade.** Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros; Campina Grande: Embrapa Algodão, 2004. 418 p.
- BERNARDO, S.; MANTOVANI, E. C.; SILVA, D. D. da; SOARES, A. A.: **Manual de Irrigação.** 9ª ed, p.545, Editora UFV. Viçosa-MG, 2019.
- CHRISTOFIDIS, D.: **Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos.** Irrigação e Tecnologia Moderna, Brasília: ABID, n.54, p. 46-55, 2002.
- CODEVASF. **Irrigação no Brasil.** 2018. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocio/irrigacao/a-irrigacao-no-brasil>. Acesso em: 21 jun. 2021.
- CRIDDLE, W. D; DAVIS, S.; PAIR, C. H.; SHOCKLEY, D. G.: **Métodos para avaliar sistemas de irrigação.** Washington. Serviço conservação do solo – USDA, 1956. 24p
- EMBRAPA CERRADOS.: **Controle da irrigação para o uso racional de água e de energia.** PLANALTINA, DF: EMBRAPA, 2002. 4p.
- FERREIRA, V. M.: **Irrigação e drenagem.** EDUFPI, p.126. il. (Técnico em Agropecuária). Floriano-PI, 2011. ISBN 978-85-7463-441-8.

- 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. v. 55, n. 1, p. 119-127, jan./abr. 1998.
- FREITAS, E. de F. M.; FARIAS, H. F. L. de; SILVA, S. M. da C.; NETO, S. A.: **Avaliação da velocidade de infiltração da água no solo e uniformidade de distribuição da água de irrigação por pivô central**. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada (INOVAGRI) - vol.12, nº.1, p. 2374 - 2384. ISSN 1982-7679 (On-line). Fortaleza-CE, 2018. Disponível em < <http://www.inovagri.org.br>>.
- FREITAS, M. A. S.; LOPES, A. V.: **Avaliação das demandas e ofertas hídricas na bacia do Rio São Francisco usando modelo de rede de fluxo**. Brasília-DF, 2003.
- GOMIDE, R. L; BERNARDO S.; VIEIRA, M.; SEDIYAMA, G. C.: **Modelo matemático para determinar a uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão**. Revista Ceres, Viçosa, MG, v.27, n.153, p.471-485, 1980.
- KELLER, J., BLIESNER, R. D.: **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Avibook, 1990. 649p.
- KLAR, E. A.; SANTANA, R. C.; DUROHA, C.: **Avaliação de sistemas de pivô central usando sprays novos e antigos e reguladores de pressão**. Irriga, Botucatu, 2001. v.6, n.1, p.70-76, 2001.
- KLEMP, S. M.; ZEILHOFER, P.: **Análise preliminar da dinâmica de implantação de pivôs de irrigação central, de 1985-2005 na bacia hidrográfica do Alto rio das Mortes – MT, Brasil**. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 14, 2009, Natal. Anais...Natal: INPE, 2009. p. 4731-4738.
- LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P.; SOUSA, D. L. de.: **Trinta anos de crescimento da agricultura irrigada por pivôs centrais na região do MATOPIBA**. XVIII Brazilian Symposium on Remote Sensing 28 a 31 de maio de 2017. Santos-SP. <disponível em: <http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/marte2/2017/09.25.14.55/capa.htm>.>
- LARA, L. S. P.: **Estudo de técnicas de automação na irrigação para agricultura com foco na irrigação por pivô central**. Ouro Preto, MG, 2014.
- LIMA, J. F; LIMA, J. C.: **Uniformidade e eficiência de um sistema de irrigação por pivô central na região de Ulianópolis-PA**. Paragominas, PA, 2019
- MANTOVANI, E. C; BERNARDO, S.; PALARETTI, M.: **AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

- MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, M.: **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: UFV, 2009. 400p.
- MARTINS, C. A. da S.; REIS, E. F. dos; NOGUEIRA, N. O.: **Análise do desempenho da irrigação por microspray na cultura do café conilon**. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - vol.7, nº.12; Goiânia, 2011.
- 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.
- NASCIMENTO, V. F.; FEITOSA, E.O.; SOARES, J.I.: **Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão via pivô central**. Revista de agricultura neotropical, Cassilândia-MS, v. 4, n. 4, p. 65-69, 2017.
- NETTO, A. O. A; BASTOS, E. A.: **Princípios Agronômicos da Irrigação**. Embrapa, Brasília, 2013. 262p.
- OLITTA, A. F. L.: **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Nobel, 1987. 267p.
- OLIVEIRA, A. S.; PEREIRA, F. A. C.; PAZ, V. P. S.; SANTOS, C. A.: **Avaliação do desempenho de sistemas de pivô central na região oeste da Bahia**. Irriga, Botucatu, n. 2, p. 126-135, ago. 2004.
- PEREIRA, J.B.A. **Manual de irrigação**. Rio de Janeiro: Emater, 2014.
- PLAYÁN, E.; SALVADOR, R.; FACI, J. M.; ZAPATA, N.; MARTINEZ, C. O. B., A.; SÁNCHEZ, I.: **Day and night wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals**. Agricultural Water Management, v.76, p.139-159, 2005.
- POSTEL, S.: **Redesenhando a agricultura irrigada: Relatório do Worldwatch Institute sobre o progresso em direção a uma sociedade sustentável**. New York, NY: W.W. Norton & Company, 2000.
- REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S. L.; FRIZZONE, J. A.; TORMENA, C. A.; BERTONHA, A.: **Influência da aplicação de água na uniformidade da umidade no perfil do solo**. Acta Scientiarum, Maringá-PR, v. 24, n.5, p. 1553-1559. 2002. Disponível em <<http://eduem.uem.br/ojs/index.php/actaSciAgron/article/viewFile/2419/1816>>. Acesso em 06 mai.2017>.
- ROCHA, E. M. M.; COSTA, R. N. T.; MAPURUNGA, S. M. S.; CASTRO, P. T.: **Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e**

- no perfil do solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.3, n.2, p.154-160, 1999. Campina Grande, PB, DEAg/UFPB – <http://www.agriambi.com.br>.
- SÁNCHEZ, I.: **Day and night Wind drift and evaporation losses in sprinkler solid-sets and moving laterals.** Agricultural Water Management, Amsterdam, v.76, n.3, p.139-159, 2005.
- SCHMIDT, W.; COELHO, R. D.; JACOMAZZI, M. A.; ANTUNES, M. A. H.: **Distribuição espacial de pivô centrais no Brasil: I – Região Sudeste.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 8, n. 2/3, p. 330-333, 2004. Campina Grande, PB, DEAg/UFCG – <http://www.agriambi.com.br>.
- SOJKA, R. E.; BJORNEBERG, D. L.; ENTRY, J. A. **Irrigation: an historical perspective.** In: LAL, R. (Ed.). Encyclopedia of soil science. 2nd ed. London: Taylor & Francis, 2006. p. 945-749. Disponível em: https://www.academia.edu/10299483/Encyclopedia_of_Soil_Science_Second_Edition_English_Version_. Acesso em: 8 maio 2021.
- SOUZA, P.C. **Programa computacional para avaliação uniformidade e eficiência de aplicação em sistemas de irrigação por pivô central sob condição de quimigação.** Dissertação (Livre Docência) – Universidade do Oeste do Paraná, Cascavel, 2006.
- TURCO, J. E. P.; RIZZATTI, G. dos S.; PAVANI, L. C.: **Custo de energia elétrica em cultura do feijoeiro irrigado por pivô central, afetado pelo manejo da irrigação e sistemas de cultivo.** Engenharia Agrícola. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 29, n. 2, p. 311-320, 2009. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/1952>.
- WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E.: **Uniformidade de distribuição de água por alguns aspersores de pomar de árvores subterrâneas.** Agricultura científica, Ottawa, Canada, v.27, n.11, p.565-583, 1947.
- ZOCOLER, J. L.; FRIZZONE, J.A.; VANZELA, L. S.: **Eficiência e adequabilidade da irrigação de um equipamento do tipo pivô central.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 30. 2001. Foz Iguaçu, Irrigação: trabalhos. Foz de Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.

ANEXOS



Imagem 1: Material para ensaio.



Imagem 2: Início do ensaio.



Imagem 3: Alinhamento dos coletores



Imagem 4: Coletores instalados



Imagem 5: Pendural e aspersor desmobilizado

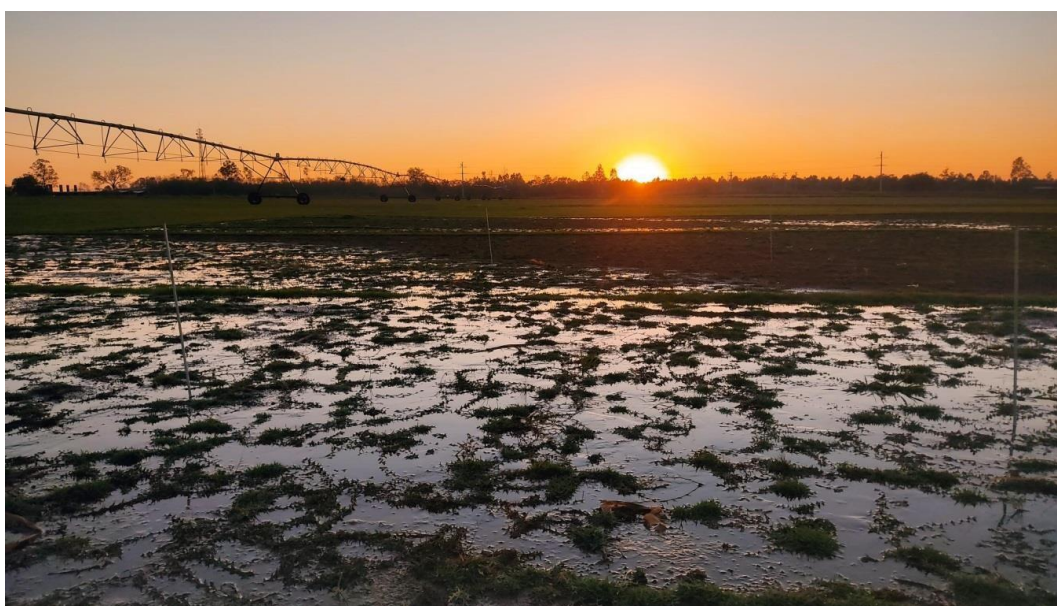


Imagem 6: Fim da irrigação e ensaio de precipitação