

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA FARROUPILHA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E
EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO, EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
POR ASPERSÃO COM DIFERENTES COMBINAÇÕES DE
ESPAÇAMENTO, BOCAL E TURNO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aline Duarte Antunes

Alegrete, 2018

**AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E
EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO, EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
POR ASPERSÃO COM DIFERENTES COMBINAÇÕES DE
ESPAÇAMENTO, BOCAL E TURNO**

Aline Duarte Antunes

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Agrícola, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha (IF Farroupilha, RS) e da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA,RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Agrícola.

Orientador (a): Prof. Dr^a Ana Rita Costenaro Parizi

**Alegrete,RS, Brasil
2018**

**Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha
Universidade Federal do Pampa
Curso de Engenharia Agrícola**

**A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova o Trabalho de Conclusão de Curso**

**AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE
ÁGUA E EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO, EM UM SISTEMA DE
IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO COM DIFERENTES
COMBINAÇÕES DE ESPAÇAMENTO, BOCAL E TURNO**

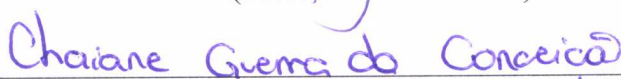
elaborado por
Aline Duarte Antunes

Como requisito parcial para a obtenção de grau de
Bacharel em Engenharia Agrícola


COMISSÃO EXAMINADORA



Ana Rita Costenaro Parizi, Dr. (IF FARROUPILHA)
(Presidente/Orientador)



Chaiane Guerra da Conceição, MSc (IF FARROUPILHA)
(Co-orientadora)



Elton Pilar Medeiros, (IF FARROUPILHA)

Alegrete, 3 de julho de 2018.

AGRADECIMENTOS

Aos meus irmãos Camila e Matheus, por todo o apoio e incentivo ao longo deste trabalho.

Ao meu namorado, Luiz Antônio, por estar sempre ao meu lado, apoiando e compreendendo as dificuldades do trabalho.

Aos meus amigos que me ajudaram muito na realização deste trabalho Luana, Lucas e Carine, se não fosse por vocês talvez esse trabalho não estivesse concluído.

Obrigado!

RESUMO

Trabalho de Conclusão de Curso
Curso de Engenharia Agrícola
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, RS, Brasil
Universidade Federal do Pampa, RS, Brasil

AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA E EFICIÊNCIA DE APLICAÇÃO, EM UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO COM DIFERENTES COMBINAÇÕES DE ESPAÇAMENTO, BOCAL E TURNO

Autor: Aline Duarte Antunes
Orientadora: Ana Rita Costenaro Parizi
Alegrete, 28 de junho de 2018.

Saber manejar corretamente o sistema de irrigação é imprescindível para obter altos índices de produtividade. Para que o sistema seja eficiente é necessário que apresente uma elevada uniformidade de distribuição, diante disso o presente estudo objetivou avaliar a uniformidade e eficiência de aplicação da água de um sistema de irrigação por aspersão convencional. Os experimentos foram executados em dois períodos diversos (manhã e tarde), sendo utilizados três distintos espaçamentos entre linhas laterais (6x12, 12x12 e 12x18 m), com dois diferentes diâmetros de bocais e períodos do dia. Para determinar a uniformidade de distribuição do sistema foram analisados os coeficientes de uniformidade (CUC), (CUD), (CUE), (CUH). O sistema foi acionado pelo período de 120 minutos no período da manhã (7:30 às 9:30), no período da tarde (16:00 às 18:00). Decorrido o tempo estipulado para a avaliação, inicia-se a coleta do volume recolhido pelos pluviômetros no período de 120 minutos com o auxílio de uma proveta graduada em mm. Após a obtenção dos dados, estes foram submetidos a análise da variância utilizando-se o Teste F e a comparação das diferentes médias pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro. Os maiores coeficientes de uniformidade ocorreram para o espaçamento 6x12m para ambos os períodos e bocais, porém não diferenciando significativamente do espaçamento 12x12m. Para as lâminas armazenadas, antes e depois da irrigação, notou-se que as maiores ocorreram para depois da irrigação com o bocal de diâmetro 3 mm no espaçamento 6x12m na camada mais superficial (0 – 10cm).

Palavras-chave: Irrigação, CUC, variabilidade de aplicação.

ABSTRACT

Coursework
Course of Agricultural Engineering
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha, RS, Brasil
Universidade Federal do Pampa, RS, Brasil

VALUATION OF UNIFORMITY OF WATER DISTRIBUTION AND APPLICATION EFFICIENCY IN AN ASPERATION IRRIGATION SYSTEM WITH DIFFERENT COMBINATIONS OF SPACING, NOZZLE AND TURN

Author: Aline Duarte Antunes
Advisor: Ana Rita Costenaro Parizi
Alegrete, 03 de julho de 2018.

Knowing how to properly manage the irrigation system is essential to achieve high productivity rates. In order to be efficient, it is necessary to present a high uniformity of distribution. The present study aimed to evaluate the uniformity and efficiency of water application of a conventional sprinkler irrigation system. The experiments were performed in two different periods (morning and afternoon), using three different spacings between lateral lines (6x12, 12x12 and 12x18 m), with two different nozzle diameters and day periods. To determine the uniformity of distribution of the system, the coefficients of uniformity (CUC), (CUD), (CUE), (CUH), were analyzed. The system was triggered for the period of 120 minutes in the morning (7:30 a.m. to 9:30 p.m.) in the afternoon (4:00 p.m. to 6:00 p.m.). After the stipulated time for the evaluation, the collection of the volume collected by the rain gauges in the period of 120 minutes begins with the aid of a measuring cylinder graduated in mm. After obtaining the data, they were submitted to analysis of the variance using the Test F and the comparison of the different means by the test of Tukey, to 5% of probability of error. The highest coefficients of uniformity occurred for the 6x12m spacing for both periods and nozzles, but did not differ significantly from the 12x12m spacing. For the stored slides, before and after irrigation, the largest occurred after irrigation with the 3 mm diameter nozzle in the 6x12m spacing in the most superficial layer (0 - 10cm).

Key words: Irrigation, CUC, application variability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Croqui representativo do ensaio para os espaçamentos 6x12, 12x12 e 12x18 m com quatro aspersores operando simultaneamente.	15
Figura 2. Área de teste.	17
Figura 3. Lâminas armazenadas antes e depois de irrigar para o espaçamento 6x12m, em a) e b) no período da manhã para os bocais de diâmetro 4 mm e 3 mm, respectivamente, em c) e d) no período da tarde para os diâmetros de 4 mm e 3 mm, respectivamente.	29
Figura 4. Lâminas armazenadas antes e depois de irrigar para o espaçamento 12x12m, em e) e f) no período da manhã para os bocais de diâmetro 4 mm e 3 mm, respectivamente, em g) e h) no período da tarde para os diâmetros de 4 mm e 3 mm, respectivamente.	30
Figura 5. Lâminas armazenadas antes e depois de irrigar para o espaçamento 12x18m, em i) e j) no período da manhã para os bocais de diâmetro 4 mm e 3 mm, respectivamente, em k) e l) no período da tarde para os diâmetros de 4 mm e 3 mm, respectivamente.	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Interpretação dos valores de CUC, CUD e CUH, de acordo com a classificação proposta por Mantovani (2001).....	18
Tabela 2. Interpretação dos valores de CUH e da Ea classificados seguindo as metodologias de Bralts (1986).....	19
Tabela 3. Dados técnicos e climáticos observados durante a execução dos testes no campo para o bocal de aspersão de diâmetro 4 mm, da marca Naandanjain modelo 5022.	22
Tabela 4. Dados técnicos e climáticos observados durante a execução dos testes no campo para o bocal de aspersão de diâmetro 3 mm, da marca Naandanjain modelo 5022.	22
Tabela 5. Análise da variância para coeficientes de uniformidade.	23
Tabela 6. Teste de médias para o fator espaçamento.	23
Tabela 7. Teste de médias para as variáveis período e bocal.	24
Tabela 8. Teste de médias para o desdobramento entre espaçamento e período, desdobramento entre espaçamento e bocal.....	24
Tabela 9. Interação para as variáveis Espaçamento x Período x Bocal.....	25
Tabela 10. Teste de médias para o desdobramento da variável período dentro de cada nível de bocal.....	25
Tabela 11. Classificação dos coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação média para os testes realizados no espaçamento 6x12 m, de acordo com Mantovani (2001) e Bralts (1986).....	26
Tabela 12. Classificação dos coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação média para os testes realizados no espaçamento 12x12, de acordo com Mantovani (2001) e Bralts (1986).....	27
Tabela 13. Classificação dos coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação média para os testes realizados no espaçamento 12x18 de acordo com Mantovani (2001) e Bralts (1986).....	28
Tabela 14. Análise da variância para as lâminas armazenadas no período da manhã.	32
Tabela 15. Teste de médias para a variável espaçamento para as lâminas armazenadas.	32
Tabela 16. Testa de médias para a variável antes de irrigar/depois de irrigar para as lâminas armazenadas.	33
Tabela 17. Teste de médias para as variáveis profundidade.....	33
Tabela 18. Interação entre as variáveis Espaçamento x AI/DI para as lâminas armazenadas antes de depois de irrigar.....	34
Tabela 19. Interação para as variáveis Espaçamento x Profundidade para as lâminas armazenadas antes e depois de irrigar.....	34
Tabela 20. Interação entre as variáveis Espaçamento x AI/DI x Profundidade.	34

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	7
1.1. Objetivo geral.....	Erro! Indicador não definido.
1.1.1. Objetivos específicos	Erro! Indicador não definido.
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. Irrigação por aspersão por aspersão	9
2.2. Uniformidade de distribuição de água.....	10
2.3. Fatores que afetam a uniformidade de distribuição.....	11
2.3.1. Bocal aspersor	12
2.3.2. Vento	12
2.3.3. Evaporação	13
2.4. Eficiência de aplicação	13
3. MATERIAIS E MÉTODOS	15
3.1. Local, época e condução do experimento	15
3.2. Determinação da uniformidade de distribuição	17
3.3. Índices físicos do solo.....	19
3.3.1. Umidade gravimétrica	19
3.4. Lâmina aplicada, lâmina armazenada e eficiência de aplicação.....	20
3.4.1. Lâmina Armazenada.....	20
3.4.2. Lâmina Aplicada.....	20
3.4.3. Eficiência de Aplicação	21
3.5. Análise estatística.....	21
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	22
4.1. Coeficientes de Uniformidade e Eficiência de Aplicação	23
5. CONCLUSÃO	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS	37
APÊNDICE A.	42
APÊNDICE B.....	43

1. INTRODUÇÃO

As condições climáticas predominantes em boa parte do território brasileiro são apropriadas à agricultura intensiva, tendo a agricultura como parte expressiva na economia do Brasil, nas últimas décadas, ocorreu um rápido desenvolvimento das tecnologias empregadas na agricultura, e uma dessas tecnologias foi a irrigação, que vem com o objetivo de suprir a demanda hídrica das culturas nas regiões com irregularidades na distribuição pluviométrica. A prática de irrigar é um método de aplicação de água que tem por objetivo de garantir a produtividade em regiões na qual a demanda pluviométrica é escassa ou irregular.

A irrigação é uma opção tecnológica de aplicação de água, que visa principalmente a redução do estresse hídrico em determinados períodos do ano. Com a obtenção desta tecnologia e realizando o manejo da irrigação de maneira correta, torna-se possível aplicar a quantidade ideal de água as plantas e no momento certo, atendendo as necessidades hídricas presentes em cada fase do desenvolvimento da cultura. O sistema de irrigação por aspersão é um dos métodos mais utilizado no Brasil, podendo ser aplicada a qualquer tipo de solo, pois ela se adequa a qualquer tipo no que diz respeito à textura e estrutura, adapta-se a terrenos com declividades mais acentuadas e superfícies menos uniformes, geralmente a eficiência desse método gira em torno de 70%, podendo alcançar 90% em alguns sistemas ou até 50% em condições severas de clima (EMBRAPA, 2011).

Para que um sistema de irrigação ofereça um elevado índice de eficiência, é preciso que o mesmo proporcione alta uniformidade de aplicação de água, e para isso é indispensável a realização de avaliações periódicas para verificar se o sistema está adequado às condições previamente estabelecidas na etapa de projeto.

Saber manejar corretamente o sistema de irrigação é imprescindível para se obter altos índices de produtividade, reduzindo assim os gastos com energia e impactos ambientais causados por percolação e escoamento superficial. Entretanto devido à escassez de mão-de-obra especializada muitos agricultores utilizam essa tecnologia de maneira inadequada, o que pode comprometer a produção.

Sabe-se que a ação do vento, umidade relativa do ar e temperatura são os principais fatores climáticos que influenciam de forma considerável na uniformidade de aplicação de água em um sistema de irrigação por aspersão. Ventos com altas velocidades reduzem a eficiência

de aplicação da água e aliados a altas temperaturas podem levar a evaporação da água antes mesmo de chegar sob a superfície do solo.

O espaçamento entre aspersores também afeta a uniformidade de aplicação, sendo fundamental que haja sobreposição entre os perfis de distribuição dos aspersores e entre as linhas laterais ao longo da linha principal. A porcentagem de sobreposição requerida dependerá do tipo de aspersor e da intensidade do vento na área irrigada.

Diante disso, o presente estudo tem como objetivo avaliar a uniformidade de aplicação da água de um sistema de irrigação por aspersão, com diferentes combinações de espaçamento, bocal e período do dia.

Apresentando os seguintes objetivos específicos: analisar os efeitos do vento, temperatura e umidade relativa do ar, na uniformidade de aplicação; definir o melhor período para realizar a prática de irrigação; analisar os efeitos de diferentes espaçamentos entre linhas laterais dos aspersores e de dois diferentes diâmetros de bocais e períodos do dia; avaliar e correlacionar o coeficiente de uniformidade (CUC), (CUD), (CUE) e (CUH) e a eficiência de aplicação de um sistema de irrigação por aspersão convencional.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste item, serão debatidos temas relativos a irrigação por aspersão como a uniformidade de distribuição, eficiência de aplicação, além dos fatores tanto climáticos como operacionais que influenciam nos coeficientes de uniformidade de distribuição, e dos métodos utilizados para sua determinação.

2.1. Irrigação por aspersão por aspersão

Segundo Pereira et al (2010), os sistemas de irrigação por aspersão mais antigos datam do início do século XX, onde foram utilizados na irrigação de gramados ornamentais, viveiros e horticultura em cultivo intensivo. Já Frizzone et al (2017), aponta que a irrigação por aspersão começou a se desenvolver, posteriormente a segunda guerra mundial, com a produção de tubos de alumínio, leves, e sistemas de acoplamentos rápidos, que facilitou a movimentação manual, dos equipamentos no campo. Para Pereira et al (2010), a flexibilidade dos equipamentos de aspersão, inclusive para o controle da aplicação de água, faz que sua utilização seja quase universal para a maior parte das condições topográficas e climáticas. Entretanto, as altas temperaturas e grandes velocidades de vento, associadas à baixa umidade do ar, resultam perdas de água por evaporação e arraste pelo vento.

Segundo Saleme (2010), por apresentar uma alta uniformidade de aplicação (75-90%), é um sistema bastante utilizado, pois, se adapta a diferentes condições. Já Santos et al., (1998), mostra que essa propensão está ligada a diversos fatores, como elevada eficiência de irrigação, bom controle do volume de água aplicado na irrigação e adaptabilidade às diversas culturas e relevos.

Segundo Saleme (2010), a aspersão convencional é o sistema básico de irrigação por aspersão do qual derivam todos os demais e caracteriza-se pelo uso de tubulações móveis de engate rápido ou fixo e enterrado, com vários aspersores funcionando simultaneamente numa mesma linha lateral, irrigando pequenas e médias áreas. Para Medeiros (2005), os diferentes tipos de sistemas de irrigação convencional podem ser montados de diferentes formas no

campo, porém devem ser levados em conta alguns pontos como, localização de fonte de água, formato da topografia da área, direção e comprimento das linhas principais e laterais.

De acordo com Frizzone et al (2017), a irrigação por aspersão dispensa a preparação da superfície do solo (nivelamento e sistematização) necessária à irrigação por superfície, adaptando-se bem a terrenos bastante declivosos e superfícies desuniformes. Em concordância Azevedo et al (1983), enfatiza que estes sistemas podem ser usados em até 20% de declive, com aspersores pequenos ou médios, com pressão de serviço entre de 1,5 a 3 atm e com aspersores grandes (canhões) de 4 a 6 atm, porém esse sistema é o que mais necessita de mão-de-obra.

Alguns especialistas acreditam que a irrigação por aspersão apresente uma economia de água em torno de 50% em relação a irrigação por superfície, entretanto outros especialistas menos otimistas acreditam que essa economia seja de apenas 15% a 30%. Com isto a irrigação por aspersão, em geral apresenta uma eficiência da ordem de 80% a 90% (FRIZZONE et al 2017).

Para Frizzone et al (2017), muitos sistemas de aspersão utilizados no Brasil ainda são do tipo convencional portátil. Mas, em áreas maiores e com o objetivo de reduzir o emprego de mão-de-obra, tem-se aumentado o uso de sistemas mecanizados, como o pivô central.

2.2. Uniformidade de distribuição de água

Conforme Heinemann et al (1997), a uniformidade tem impacto na eficiência da irrigação, a qual se caracteriza pela quantidade de água necessária ao desenvolvimento e ao rendimento de determinada cultura. Para Bastos et al (2014), a uniformidade de aplicação de água intervém no custo da irrigação, influenciando assim o desenvolvimento da cultura. Segundo Paulino et al (2009), a incorreta uniformidade de aplicação acarreta em excesso da mesma em partes da área e carência em outras, reduzindo a quantidade de água disponível para a cultura e elevando os gastos com a produção. A uniformidade de irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerado um dos fatores mais importantes na operação de sistemas de irrigação (BERNARDO et al., 2009).

Segundo Frizzone & Neto (2003) há sistemas de irrigação que, por terem sido mal planejados, apresentam baixa eficácia. Nesses casos e naqueles sistemas cuja eficiência nunca foi analisada, o ensaio tem por objetivo levantar os dados para avaliar a necessidade de melhorias, aumentando assim a eficiência do sistema de irrigação. Para Paulino et al (2009),

através de uma análise completa do sistema, pode-se observar, se a irrigação está sendo realizada de maneira eficaz, com o auxílio de uma vasta lista de coeficientes de uniformidade de aplicação de água, os quais expressam a variabilidade de distribuição do sistema de irrigação. Para avaliar a o sistema de irrigação, diversos parâmetros são determinados a campo, como a vazão, tempo de irrigação e uniformidade de aplicação de água, estes são critérios básicos para tomada de decisões em relação ao diagnóstico do sistema (PAULINO et al 2015).

Para Faria et al (2009), os sistemas de irrigação por aspersão devem aplicar água da maneira mais uniforme possível, visto que a desuniformidade de aplicação de água diminui o retorno econômico e aumenta o impacto ambiental da irrigação.

Segundo Mendonça et al (1999), em sistemas de irrigação por aspersão convencional a uniformidade de distribuição de água e fertilizantes é dada pelo modo como o equipamento é distribuído e pela disposição dos equipamentos no campo. Em geral, o aumento da uniformidade de distribuição da água requer investimentos na melhoria do sistema, em manutenção e em mão-de-obra (CUNHA et al., 2009).

Para realizar a avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água de um sistema de irrigação por aspersão, foram desenvolvidos coeficientes para expressar a variabilidade de distribuição de água na superfície do solo, o primeiro deles foi apresentado por Christiansen em 1942 e utiliza o desvio médio absoluto como valor de dispersão (CUC), aceitando valores superiores a 80% para boa e excelente uniformidade de aplicação. Foi proposto em 1947 por Wilcox e Swailes um coeficiente de uniformidade que emprega o desvio-padrão como medida de dispersão (CUE), com valor mínimo aceitável de 80%. Cridlle em 1956 propôs outra medida de uniformidade, levando em conta a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média (CUD), sendo valores considerados bons acima de 68%, todos classificados de acordo com Mantovani (2001). Em 1961 Hart apresenta um coeficiente de uniformidade usando também o desvio-padrão como medida de dispersão (CUH), que de acordo com a classificação de Bralts (1986) os valores aceitáveis devem ser estimados acima 80%.

2.3. Fatores que afetam a uniformidade de distribuição

Segundo Heinemann et al (1998), os fatores que interferem na 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: pressão de operação do emissor, velocidade e alinhamento da linha lateral do equipamento, e altura do emissor.

2.3.1. Bocal aspersor

Os aspersores são os componentes fundamentais do sistema de irrigação por aspersão, através deles é realizado o fracionamento e distribuição da água em forma de chuva sobre o solo. Existem aspersores com um ou dois bocais, nos quais são caracterizados pelos diâmetros expressos em milímetros. Nos aspersores com dois bocais, o menor deles tem um raio de alcance mais reduzido, molhando a parte interna do círculo (BERNARDO et al 2006). Segundo Guirra (2011), os aspersores possuem peças que alteram o perfil de distribuição dentre essas peças encontram-se o bocal, o braço oscilante e o defletor.

De acordo com Barreto (1997), avaliando o coeficiente de uniformidade de Christiansen para diferentes formatos de orifícios de bocais concluiu que o maior valor de CUC ocorreu para o bocal de orifício quadrangular.

De acordo com Merkley (2004), o diâmetro do bocal conjuntamente com a pressão de serviço excessiva causará uma maior fragmentação das gotas reduzindo o seu tamanho médio e conseqüentemente diminuindo o seu raio de alcance, aplicando água em excesso próximo do aspersor.

2.3.2. Vento

Para Guirra et al (2013), inúmeras razões influenciam na uniformidade de distribuição, desde o planejamento do sistema até os fatores climáticos, sendo que, na irrigação por aspersão, um dos mais importantes é a velocidade do vento. Segundo Bernardo et al (2006), a decorrência do vento pode ser reduzida diminuindo o espaçamento entre os aspersores ao longo das linhas e entre as linhas laterais, o autor também afirma que escolher aspersores com menor intensidade também reduz o efeito do vento, pois, desta forma o sistema terá que ficar mais tempo ligado, e quanto maior for o tempo de funcionamento por posição maior será a uniformidade de distribuição.

De acordo com Bernardo et al (2009), nos locais onde a velocidade do vento atinge valores acima de 5 m/s, as perdas por evaporação e arraste podem chegar a 20% ou mais. Para Ribeiro & Souza (1983), a direção do vento deve ser considerada na análise da qualidade da irrigação por aspersão, juntamente, com dados sobre sua velocidade, eles também frisam que quando o espaçamento é retangular a maior distância entre os aspersores, deve ficar paralela à direção dos ventos dominantes (geralmente espaçamento entre laterais), e o menor espaçamento, perpendicular à direção dos ventos dominantes.

Deve-se ter informações precisas de sua velocidade, que exerce papel significativo na eficiência de aplicação, e da sua direção, que deve ser levada em conta na disposição das tubulações (LOPEZ et al 1975).

3.2.3. Evaporação

Para Bescow (2011), é de grande importância dimensionar as perdas por evaporação, tanto no aspecto econômico quanto no ambiental, possibilitando a minimização das mesmas em sistemas de irrigação por aspersão, entretanto quantificar tais perdas separadamente é uma tarefa bastante complicada, em virtude das dificuldades encontradas com as técnicas necessárias para medir tais perdas.

Segundo Christiansen (1942), coletando água em pluviômetros para estimar as perdas por evaporação na irrigação por aspersão observou elas estiveram em torno de 10 e 42%, para os testes realizados no período da tarde e próximo a 4% para efetuados de manhã. Mesmo não tendo realizado estudos para diferentes condições de clima, concluiu que as perdas são mais elevadas em dias com ventos fortes, quentes e secos. O mesmo autor menciona que em condições de baixa demanda evaporativa as perdas por evaporação e arrastamento estão entre 5 e 10%, chegando a valores entre 30 e 40%, sob condições de alta demanda.

2.4. Eficiência de aplicação

Segundo Fietz et al (1999), a eficiência de distribuição e de armazenagem estão entre os parâmetros mais utilizados na avaliação da performance da irrigação. A eficiência de distribuição quantifica o volume de água estocada na zona radicular em relação à infiltrada,

enquanto a eficiência de armazenagem indica a adequação do reabastecimento na profundidade efetiva.

Conforme Silva & Silva (2005), para que a irrigação seja eficiente, é imperativo que os sistemas apresentem alta uniformidade de aplicação da água. Uma vez instalado um projeto de irrigação, é necessário verificar se as condições previstas inicialmente se confirmam em campo. A aplicação de água em um sistema de irrigação por aspersão convencional nunca será plenamente uniforme, por melhor que seja o sistema de irrigação, e a quantificação dessa variação é fundamental na avaliação do desempenho da irrigação (SILVA et al 2004).

Conforme Frizzone (1992), a eficiência de aplicação pode ser superior, igual ou inferior a uniformidade de distribuição. Quando a eficiência de aplicação é maior que a uniformidade de distribuição, existe área com déficit. Valores de eficiência de aplicação elevados aponta que toda a água está sendo aplicada corretamente, o que só seria possível se não houvesse praticamente nenhuma perda por percolação. O valor de eficiência de aplicação pode alcançar os valores de uniformidade de distribuição se a água escoada superficialmente no final da parcela for reutilizada, e se as perdas por evaporação forem mínimas e o tempo de concentração da parcela for adequado. O valor de eficiência de aplicação é menor que uniformidade de distribuição se o tempo de oportunidade de infiltração é muito grande, resultando em grande perda de água por percolação profunda em toda a área.

Segundo Wrubluski (2014), a mais direta consequência ao usuário da irrigação é a redução dos custos com energia, mão-de-obra, e impacto ambiental, um sistema bem manejado e dimensionado, possui uma alta produção, preservando o ambiente sem grandes impactos. Além da economia com a mão-de-obra, alguns especialistas em irrigação acreditam que a economia de água da irrigação por aspersão é em torno de 50%, porém outros menos otimistas referem-se apenas 15% a 30% (FRIZZONE et al., 2017).

. Para Schons (2006), é muito importante conhecer dos fatores que interferem na eficiência dos equipamentos de irrigação. O produtor deve saber que as particularidades de projeto, ou que as práticas de uso do equipamento modificam a aplicação de água.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Local, época e condução do experimento

O experimento foi realizado na área experimental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha – Campus Alegrete, localizado no subdistrito do Passo Novo à aproximadamente 34 km da cidade de Alegrete, a 29°42'52.24" de latitude sul e 55°31'25.39" de longitude oeste, com altitude em torno de 121 metros, conforme a classificação de Köppen-Geiger o clima da região é identificado como clima subtropical úmido, de verões quente com média anual de precipitação em torno de 1465 mm, apresentando chuvas regulares e bem distribuídas, dispõe também uma alta variação de temperaturas, cerca de 27° C entre temperatura média máxima e mínima, e umidade relativa do ar próximo aos 75% (INMET, 2017).

A condução do experimento ocorreu no primeiro semestre do ano de 2018, em uma área correspondente a 1296 m². O solo desta área é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico, unidade de mapeamento São Pedro (STRECK et al., 2008).

O experimento foi realizado em dois períodos diversos (manhã e tarde), sendo utilizados três distintos espaçamentos entre linhas laterais (6x12, 12x12 e 12x18 m), com dois bocais de aspersão de diferentes vazões.

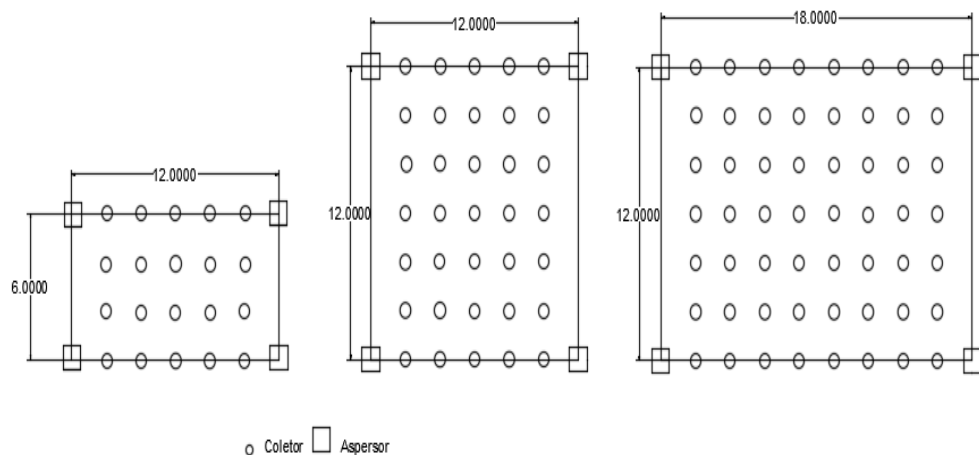


Figura 1. Croqui representativo do ensaio para os espaçamentos 6x12, 12x12 e 12x18 m com quatro aspersores operando simultaneamente.

Na realização da avaliação foi utilizado a metodologia descrita por Bernardo et al (2009), no qual consiste em colocar coletores, em uma malha de pontos em torno do aspersor ou da linha lateral, o presente teste terá um espaçamento entre coletores de 2 m.

O sistema de irrigação por aspersão convencional foi acionado por um intervalo de 120 minutos, os ensaios foram conduzidos com dois bocais de aspersão diferentes diâmetros de bocais, entretanto, devido à pouca disponibilidade aspersores os testes com os diferentes bocais não puderam ocorrer simultaneamente, então primeiramente deu-se início no turno da manhã das 7:30 às 09:30h com o bocal de diâmetro 4 mm, após o período de 120 minutos, desligou-se o sistema e foi iniciado a verificação do volume coletado pelos copos, utilizando uma proveta graduada em milímetros, após a verificação do volume coletado, procedeu-se então com a troca dos bocais para o diâmetro de 3 mm iniciando a segunda irrigação da manhã no período das 10:00 às 12:00 h. A primeira irrigação da tarde ocorreu entre à 13:30 e às 15:30h com o bocal de diâmetro 3 mm e a segunda irrigação ocorreu entre às 16:00 e às 18:00 utilizando o bocal de diâmetro 4 mm. Previamente ao acionamento do sistema no período da manhã, e entre cada período de irrigação foi realizada a coleta de amostras de solo deformadas em três diferentes profundidades (0-10, 10-20, 20-30) e em três pontos da área para posteriormente determinar a umidade presente no solo antes e após cada irrigação, podendo desta forma definir a lâmina de água que ficou armazenada no solo e a eficiência de aplicação do sistema. Essa metodologia utilizada for repetida para os três espaçamentos previstos.

Para quantificar a evaporação foi empregado o método utilizado por Azevedo et al (2000), antes do início de cada teste, foram instalados oito pluviômetros iguais aos utilizados para coleta da água dos aspersores, nos quais colocou-se 10 mL de água, posicionados junto da área de teste. Após o final do teste do aspersor, foram lidos os volumes de quatro pluviômetros com o auxílio de uma proveta graduada em mm; depois, foram feitas as leituras dos pluviômetros que coletaram a água distribuída pelo aspersor e, ao final dessas leituras, lidos os quatro pluviômetros restantes; desta forma, obteve-se o volume inicial e final dos pluviômetros para cada ensaio e a evaporação média. Os dados de temperatura, velocidade do vento e umidade relativa do ar, foram coletados na estação meteorológica Alegrete-A826, que está localizada no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Farroupilha – Campus Alegrete, esses valores foram usados posteriormente para comparação entre os períodos observados.



Figura 2. Área de teste.
Fonte: O autor.

3.2. Determinação da uniformidade de distribuição

Para avaliar a uniformidade de distribuição de água foram utilizados os seguintes métodos de determinação: coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), coeficiente estatístico de uniformidade (CUE) e coeficiente de uniformidade de Hurt (CUH), calculados respectivamente pelas seguintes equações:

Coeficiente de uniformidade de Christiansen (1), proposto por Christiansen et al 1942:

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_{i=0}^n |L_i - L_m|}{N \cdot L_m} \right] \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

CUC: Coeficiente de uniformidade (%);

N: Número de coletores;

L_i : Lâmina coletada no ponto “i” (mm);

L_m : Lâmina média de todas as observações (mm).

Coeficiente de uniformidade de distribuição (2), proposto por Criddle em 1956:

$$CUD = \frac{l_q}{L_m} \cdot 100 \quad (2)$$

Onde:

CUD: Coeficiente de uniformidade de distribuição;

l_q : Média de 25% das observações com menores valores, ou seja, média do menor quartil;

Lm: Lâmina média de todas as observações (mm).

Coeficiente de estatístico de uniformidade (3), proposto por Wilcox e Swailes em 1957:

$$CUE = \left(1 - \frac{Sd}{Lm}\right) \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

CUE: Coeficiente estatístico de uniformidade;

Sd: Desvio padrão;

Lm: Lâmina média de todas as observações (mm).

Coeficiente de uniformidade de Hart (4), proposto por Hart em 1961:

$$CUH = \left(1 - \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot \sqrt{\frac{Sd}{Lm}}\right) \quad (4)$$

Onde:

CUH: Coeficiente de uniformidade de Hart (%);

Sd: Desvio padrão;

Lm: Lâmina média de todas as observações (mm).

Nas tabelas 1 e 2 são apresentadas as classificações para os diferentes testes, segundo Mantovani (2001) e Bralts (1986).

Tabela 1. Interpretação dos valores de CUC, CUD e CUH, de acordo com a classificação proposta por Mantovani (2001).

CLASSIFICAÇÃO	CUC (%)	CUD (%)	CUE (%)
Excelente	> 90	> 84	90 - 100
Bom	80 - 90	68 - 84	80 - 90
Razoável	70 - 80	52 - 68	70 - 80
Ruim	60 - 70	36 - 52	60 - 70
Inaceitável	< 60	< 36	< 60

Fonte: Mantovani (2001).

Tabela 2. Interpretação dos valores de CUH e da Ea classificados seguindo as metodologias de Bralts (1986).

CLASSIFICAÇÃO	CUH (%)	CLASSIFICAÇÃO	EA (%)
Excelente	> 90	Ideal	≥ 95
Bom	80 – 90	Aceitável	80 – 95
Regular	70 – 80	Inaceitável	< 80
Ruim	< 70	-	-

Fonte: Bralts (1986).

3.3. Índices físicos do solo

Para a determinação dos índices físicos do solo foi utilizado o manual de métodos de análise do solo Embrapa 97.

3.3.1. Umidade gravimétrica

$$U_g = \frac{M_{su} - M_{ss}}{M_{ss}} \quad (5)$$

Onde:

U_g : Umidade à base de solo seco;

M_{su} : Massa de solo úmido, em g;

M_{ss} : Massa de solo seco, em g.

A determinação da densidade do solo é dada pela Equação 2:

$$DS = \frac{MS}{Volume} \quad (6)$$

Onde

Ds: Densidade do solo (g/cm³)

MS: Massa da amostra seca a 105°C (g);

Volume: Volume do anel ou cilindro (cm³).

Através dos dados de umidade gravimétrica e densidade do solo, determinou-se a umidade volumétrica do mesmo, utilizando a equação (9):

$$U_v = U_g \cdot D_g \quad (7)$$

Onde

U_v : Umidade à base de volume;

U_g : Umidade à base de massa seca, em g de água.g⁻¹ de sólido;

D_g : Massa específica global do solo, em g.cm⁻³.

3.4. Lâmina aplicada, lâmina armazenada e eficiência de aplicação

3.4.1. Lâmina Armazenada

A lâmina armazenada no solo foi determinada pela equação 8:

$$L_{arm} = Z \cdot U_v \quad (8)$$

Onde:

L_{arm} = Lâmina armazenada, em cm;

Z = Profundidade do sistema, em cm;

U_v = Umidade à base de volume.

3.4.2. Lâmina Aplicada

Para determinação da lâmina aplicada utilizou-se a equação 9:

$$LAp = \frac{Lmc \cdot S1 \cdot S2}{qa \cdot ti \cdot 36} \quad (9)$$

Onde:

LAp: Lâmina aplicada (mm);

Lmc: Lâmina média coletada (mm);

qa: Vazão média do aspersor (L/s);
S1: Espaçamento entre aspesores;
S2: Espaçamento entre laterais;
ti: Tempo de irrigação (h).

3.4.3. Eficiência de Aplicação

Para determinação da eficiência de aplicação utilizou-se a equação 10:

$$Eap = \frac{Larm}{Lapl} \quad (10)$$

Onde:

Eap: Eficiência de aplicação;

Larm: Lâmina armazenada;

Lapl: Lâmina aplicada.

3.5. Análise estatística

Após a obtenção dos dados, estes foram submetidos a análise da variância utilizando-se o Teste F e a comparação das diferentes médias pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade de erro ou ao ajuste de equações de regressão quando for o caso. As análises serão realizadas como o auxílio do software Sisvar 5.6.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As tabelas 3 e 4 apresentam os dados técnicos e climáticos observados para os dois diâmetros de bocais utilizados durante a execução dos testes no campo. Observa-se que os testes foram realizados em condições climáticas média amplitude de variação, ou seja, moderadas velocidades médias de vento (0,5 a 2,8 m/s) para o bocal de diâmetro 3 mm e (0,8 a 2,8 m/s) para o bocal de diâmetro 4 mm, e altos valores de umidade relativa média do ar (41 a 95%) e baixos valores de temperatura (2,7 a 19,1°C). Nota-se também que as maiores lâminas médias aplicadas ocorreram no espaçamento 6x12 m, e as menores lâminas médias aplicadas ocorreram no espaçamento 12x18 m, entretanto o teste realizado com o bocal de diâmetro 4 mm no espaçamento 12x12 m no período da tarde também apresentou uma lâmina média aplicada inferior se comparada a lâmina média aplicada para o bocal de diâmetro 3 mm nas mesmas condições.

Tabela 3. Dados técnicos e climáticos observados durante a execução dos testes no campo para o bocal de aspersão de diâmetro 4 mm, da marca Naandanjain modelo 5022.

Discriminação	Manhã			Tarde		
	I	II	III	I	II	III
Espaçamento entre aspersores (m)	6x12	12x12	12x18	6x12	12x12	12x18
Lâmina média aplicada (mm)	16,5	15,75	7,15	18,2	5,45	5,8
Intensidade de aplicação (mm.h ⁻¹)	199,05	320,45	232,50	212,45	126	207,55
Velocidade média do vento (m.h ⁻¹)	0,4	0,5	0,7	2,8	1,3	1,2
Temperatura média do ar (°C)	3,6	5,2	3,3	17,4	16,3	17,1
Umidade relativa do ar	95	91	96	46	51	64
Evaporação média durante a irrigação	0,275	0,5	0,675	0,6	0,325	0,7

Tabela 4. Dados técnicos e climáticos observados durante a execução dos testes no campo para o bocal de aspersão de diâmetro 3 mm, da marca Naandanjain modelo 5022.

Discriminação	Manhã			Tarde		
	I	II	III	I	II	III
Espaçamento entre aspersores (m)	6x12	12x12	12x18	6x12	12x12	12x18
Lâmina média aplicada (mm)	13,05	8,05	5,2	12,75	7,55	5,3
Intensidade de aplicação (mm.h ⁻¹)	166,40	171,66	194,80	149,65	160,60	187,95
Velocidade média do vento (m.h ⁻¹)	0,6	0,4	0,5	2,8	1	1,2
Temperatura média do ar (°C)	2,7	4,1	3,8	18,5	17	19,1
Umidade relativa do ar	97	97	97	41	42	59
Evaporação média durante a irrigação	0,55	0,975	0,825	0,425	0,325	0,65

4.1. Coeficientes de Uniformidade e Eficiência de Aplicação

Na tabela 5 está apresentada a análise da variância para os valores de coeficiente de uniformidade de distribuição, para os diferentes tratamentos e níveis avaliados.

Tabela 5. Análise da variância para coeficientes de uniformidade.

Fontes de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
Espaçamento (E)	2	21319,33	10659,66	39,29 **
Período (P)	1	502,82	502,82	1,85 ns
Bocal (B)	1	31,17	31,17	0,11 ns
E x P	2	784,20	392,10	1,44 ns
E x B	2	323,44	161,72	0,59 ns
P x B	1	1249,36	1249,36	4,60 **
E x P x B	2	631,46	10659,66	39,29 ns
Resíduo	136	36897,55	271,30	
Total	143	52528,62		

¹GL: graus de liberdade; ²SQ: soma de quadrados; ³QM: quadrado médio; ⁴F: F calculado; --: os tratamentos são qualitativos; **: significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; * significativo ao nível de 5%; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

A partir da análise da variância para os coeficientes de uniformidade de distribuição, foi constatado que não houve diferença significativas nos fatores período e bocal. Segundo Storck et al (2011), para fatores qualitativos quando não apresentam diferença significativa há a necessidade de realizar o teste F e o teste de médias (tabela 7). No entanto o tratamento espaçamento apresentou diferença significativa fazendo com que haja a necessidade de aplicarmos o teste de médias para diferenciar quais níveis do variável espaçamento diferem entre si (tabela 6), além de comparar as médias dos espaçamentos dentro dos bocais e períodos ou comparar as médias de períodos e bocais dentro dos espaçamentos (tabela 7).

Tabela 6. Teste de médias para o fator espaçamento.

Nível do fator	Média
E1 ¹	78,04 a
E2 ²	75,39 a
E3 ³	51,01 b

¹ E1: Espaçamento 6x12 m; ² E2: Espaçamento 12x12 m; ³E3: Espaçamento 12x18 m.

De acordo com a tabela 6 nota-se que o espaçamento E3 diferiu significativamente no teste Tukey a 5% de probabilidade do demais espaçamentos avaliados, ela demonstra que o espaçamento E3 apresenta a uniformidade de distribuição de água.

Tabela 7. Teste de médias para as variáveis período e bocal.

Nível do Fator	Média
P1¹	66,28 a
P2²	70,01 a
B1¹	67,82 a
B2²	68,80 a

¹P1: Período da manhã; ² P2: Período da tarde; ¹B1: Bocal de abertura 4 mm; ² B2: Bocal de abertura 3 mm.

De acordo com a tabela 7, é possível verificar a partir do teste de médias que não há diferença significativa entre as observações dos períodos e diferentes diâmetros de bocais.

A tabela 8 apresenta os testes de médias para os desdobramentos espaçamento e período, espaçamento e bocal.

Tabela 8. Teste de médias para o desdobramento entre espaçamento e período, desdobramento entre espaçamento e bocal.

Tratamento	Médias				
	P1	P2	Tratamentos	B1	B2
E3³	46,28 aC	55,74 aB	E3³	52,8 aA	46,88 aA
E1¹	73,53 bA	77,06 bA	E2²	75,60 bA	74,77 bA
E2²	79,03 bA	77,26 bA	E1¹	79,30 bA	76,78 bA

¹ E1: Espaçamento 6x12 m; ² E2: Espaçamento 12x12 m; ³E3: Espaçamento 12x18 m; ¹P1: Período da manhã; ² P2: Período da tarde; ¹B1: Bocal de abertura 4 mm; ² B2: Bocal de abertura 3 mm.

De acordo com Bernardo et al (2006), quanto maior for o espaçamento entre os aspersores menor será a uniformidade de distribuição, essa afirmação pode ser observada na tabela 8 no qual nota-se que ocorreu diferença significativa para o tratamento E3 em relação aos demais níveis do tratamento, tanto para os períodos do dia quanto para os diâmetros dos bocais. Além disso observa-se também que os maiores valores de uniformidade de distribuição ocorreram para o espaçamento E2 para ambos os períodos e bocais.

Na tabela 9 encontram-se os valores referentes ao teste de médias da interação espaçamento x período x bocal.

Tabela 9. Interação para as variáveis Espaçamento x Período x Bocal.

Espaçamento	Período x Bocal			
	P1 ¹ x B1 ¹	P1 ¹ x B2 ²	P2 ² x B1 ¹	P2 ² x B2 ²
E1 ¹	79,20 aA	74,91 aA	79,40 aA	78,66 aA
E2 ²	79,44 aA	74,77 aA	72,35 aA	74,69 aA
E3 ³	51,51 bB	59,96 bB	45,68 bB	46,88 bB

¹E1: Espaçamento 6x12 m; ²E2: Espaçamento 12x12 m; ³E3: Espaçamento 12x18 m; ¹P1: Período da manhã; ²P2: Período da tarde; ¹B1: Bocal de abertura 4 mm; ²B2: Bocal de abertura 3 mm.

Analisando a tabela de interações 9 observa-se que a variável E3 apresentou diferença significativa em relação aos demais níveis do tratamento espaçamento, porém não apresentou diferença significativa entre si.

Mesmo não havendo diferença significativa no teste F para a variável período, analisando o teste de médias (tabela 10) nota-se que houve uma diferença significativa no teste Tukey a 5% de probabilidade entre os níveis do tratamento período quando desdobrados para cada nível da variável bocal e espaçamento. A tabela mostra que o bocal de diâmetro 3 mm no período da tarde apresentou diferença significativa do mesmo diâmetro de bocal no período da manhã. E que o espaçamento 12x18 m diferiu significativamente no período da tarde.

Tabela 10. Teste de médias para o desdobramento da variável período dentro de cada nível de bocal

Tratamentos	Médias	Tratamentos	Médias
P1 ¹	62,77 a	P1 ¹	46,28 a
P2 ²	74,84 b	P2 ²	55,73 b

¹P1: Período da manhã; ²P2: Período da tarde

Na Tabela 11 estão dispostas as medidas dos coeficientes médios de uniformidade de Christiansen (CUC), de uniformidade estatística (CUE), de uniformidade de distribuição (CUD), de uniformidade de Hart (CUH) e eficiência de aplicação (Ea) e suas respectivas classificações.

Tabela 11. Classificação dos coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação média para os testes realizados no espaçamento 6x12 m, de acordo com Mantovani (2001) e Bralts (1986).

MANHÃ			TARDE		
Bocais 4 mm			Bocais 4 mm		
Coeficientes de uniformidade	Valores de uniformidade	Classificação	Coeficientes de uniformidade	Valores de uniformidade	Classificação
CUC	97,76	Excelente	CUC	94,06	Excelente
CUD	68,76	Bom	CUD	69,42	Bom
CUE	83,29	Bom	CUE	82,42	Bom
CUH	66,99	Ruim	CUH	66,70	Ruim
Ea	75,58	Inaceitável	Ea	61,63	Inaceitável
Bocais 3 mm			Bocais 3 mm		
CUC	97,07	Excelente	CUC	97,77	Excelente
CUD	56,45	Razoável	CUD	63,91	Razoável
CUE	80,82	Razoável	CUE	83,42	Razoável
CUH	65,29	Ruim	CUH	68,69	Regular
Ea	64,16	Inaceitável	Ea	55,46	Inaceitável

Observando a tabela 11 pode-se notar que de acordo com a classificação de Mantovani (2001) e Bralts (1986) não ocorreu discrepância nos valores dos coeficientes de uniformidade entre os bocais de diâmetro 3 e 4 mm dois períodos estudados, durante a realização das avaliações a velocidade do vento foi relativamente estável, não sendo possível detectar efeitos sobre os coeficientes de uniformidade, pois, durante os testes, os valores da velocidade do vento estavam entre moderado a baixo entre 0,4 e 0,7 m.s⁻¹ no período da manhã e entre 1 e 3,8 m.s⁻¹ no período da tarde, Azevedo et al. (2000) avaliando a influência dos fatores climáticos sobre um sistema de irrigação convencional, apontam que o coeficiente diminuiu de 82 para 28%, quando a velocidade aumentou de 1 para 7 m.s⁻¹, ou seja, com o aumento progressivo da velocidade do vento o CUC diminui. No mesmo trabalho, os autores expõem que valores de CUC superiores ou iguais a 70% só foram alcançados para velocidade do vento inferior a 3,3 m.s⁻¹.

Para o espaçamento 6x12 m, Martins et al (2012), encontrou valores de 91,2 e 86,3% para os valores de CUC e CUD, respectivamente, obtidos a uma velocidade média de 1,4 m.s⁻¹ com uma pressão de serviço de 100 kPa. Além disso destacam que os maiores valores de uniformidade de distribuição obtidos ocorreram para os menores espaçamentos.

Na tabela 12 encontram-se os valores dos coeficientes de distribuição e eficiência de aplicação médios para o espaçamento 12x12.

Tabela 12. Classificação dos coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação média para os testes realizados no espaçamento 12x12, de acordo com Mantovani (2001) e Bralts (1986).

MANHÃ			TARDE		
Bocais 4 mm			Bocais 4 mm		
Coeficientes de uniformidade	Valores de uniformidade	Classificação	Coeficientes de uniformidade	Valores de uniformidade	Classificação
CUC	93,99	Ruim	CUC	93,44	Excelente
CUD	76,54	Bom	CUD	79,60	Bom
CUE	82,25	Bom	CUE	63,43	Ruim
CUH	66,17	Ruim	CUH	52,94	Ruim
Ea	82,90	Aceitável	Ea	42,31	Inaceitável
Bocais 3 mm			Bocais 3 mm		
CUC	88,49	Bom	CUC	91,75	Excelente
CUD	70,91	Bom	CUD	70,10	Bom
CUE	77,46	Bom	CUE	75,69	Razoável
CUH	62,22	Regular	CUH	61,24	Ruim
Ea	60,52	Inaceitável	Ea	56,86	Inaceitável

Já para o espaçamento 12x12, pode-se observar analisando a tabela 14 que de acordo com os coeficientes, a maior uniformidade de aplicação para ambos os bocais de aspersão ocorreu no período da manhã.

Segundo Bernardo et al. (2006), projetos de irrigação por aspersão devem apresentar coeficientes de uniformidade da ordem de 75 a 90%, o que resultaria em boa distribuição espacial de água e, conseqüentemente, maior uniformidade da lavoura, o que foi observado no sistema avaliado com ambos os bocais de aspersão, com exceção do CUH que ficou abaixo dos 75% para os dois bocais nos dois períodos estudados.

Em todos os testes realizados percebe-se que os valores de CUD são inferiores aos valores de CUC, segundo Rezende (1992) o fato de CUD ser sempre menor que CUC é pertinente às variáveis utilizadas nas equações para a determinação desses coeficientes, pois no cálculo de CUD consideram-se apenas 25% da área que recebeu menos água. Diversos trabalhos na literatura demonstram que o CUC proporciona maior valor de uniformidade que o CUD (Silva et al 2015; Souza et al 2014; Rocha et al 1999; entre outros)

Essas conclusões foram afirmadas por Keller e Bliesner (1990), que pondera que o CUD é o mais rigoroso para o dimensionamento e a análise de um sistema de irrigação, no entanto apesar do CUD ser o coeficiente mais rigoroso, este não apresenta uma boa discriminação e desta forma apresenta dificuldades em detectar os distúrbios de vazão.

Na tabela 13 encontram-se os valores dos coeficientes de distribuição e eficiência de aplicação médios para o espaçamento 12x18.

Tabela 13. Classificação dos coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação média para os testes realizados no espaçamento 12x18 de acordo com Mantovani (2001) e Bralts (1986).

MANHÃ			TARDE		
Bocais 4 mm			Bocais 4 mm		
Coefficientes de uniformidade	Valores de uniformidade	Classificação	Coefficientes de uniformidade	Valores de uniformidade	Classificação
CUC	77,55	Ruim	CUC	70,31	Ruim
CUD	45,26	Inaceitável	CUD	38,73	Inaceitável
CUE	65,50	Ruim	CUE	37,12	Inaceitável
CUH	51,54	Ruim	CUH	36,53	Ruim
Ea	79,33	Inaceitável	Ea	77,07	Inaceitável
Bocais 3 mm			Bocais 3 mm		
CUC	67,87	Ruim	CUC	73,80	Ruim
CUD	35,48	Ruim	CUD	26,28	Inaceitável
CUE	55,75	Ruim	CUE	48,08	Inaceitável
CUH	46,93	Ruim	CUH	27,48	Ruim
Ea	59,51	Inaceitável	Ea	62,73	Inaceitável

De acordo com Oliveira et al (2007) que estudou a influência do espaçamento na uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação, encontrou valores médios de CUC e CUD de 69,21 e 55,28% respectivamente. No entanto ao instalar válvulas reguladoras de pressão nos aspersores, proporcionou um aumento nos coeficientes de 83,12% para o CUC e 71,8% para o CUD.

Analisando as tabelas 11, 12 E 13, nota-se que para todos os espaçamentos os valores do coeficiente CUH foram inferiores aos valores dos demais coeficientes, em concordância com os valores encontrados por Cunha et al (2009), que ao comparar as equações para cálculo de uniformidade de aplicação de água encontrou valores de CUH inferiores em relação aos outros coeficientes, aponta também que talvez essa redução dos valores esteja atribuída as variáveis utilizadas na equação que leva em consideração poucas características do sistema.

Com relação aos valores da eficiência de aplicação verifica-se que, para o espaçamento 12x12 no período da manhã para o bocal de diâmetro 4 mm apresentou uma eficiência de aplicação aceitável, e nos demais espaçamentos nos dois períodos do dia avaliados para e para os dois bocais todos apresentaram valores considerados inaceitáveis, estando abaixo do esperado, o que pode proporcionar aumento do consumo de água e de energia, com aumento dos custos e redução da produtividade.

Para a determinação das lâminas de água que ficaram armazenadas no solo, realizou-se a coleta de solo em três diferentes profundidades antes e depois de cada irrigação.

Desta forma, foram plotados gráficos (figura 3, figura 4, figura 5) com o objetivo de se obter uma melhor visualização das lâminas armazenadas no trabalho.

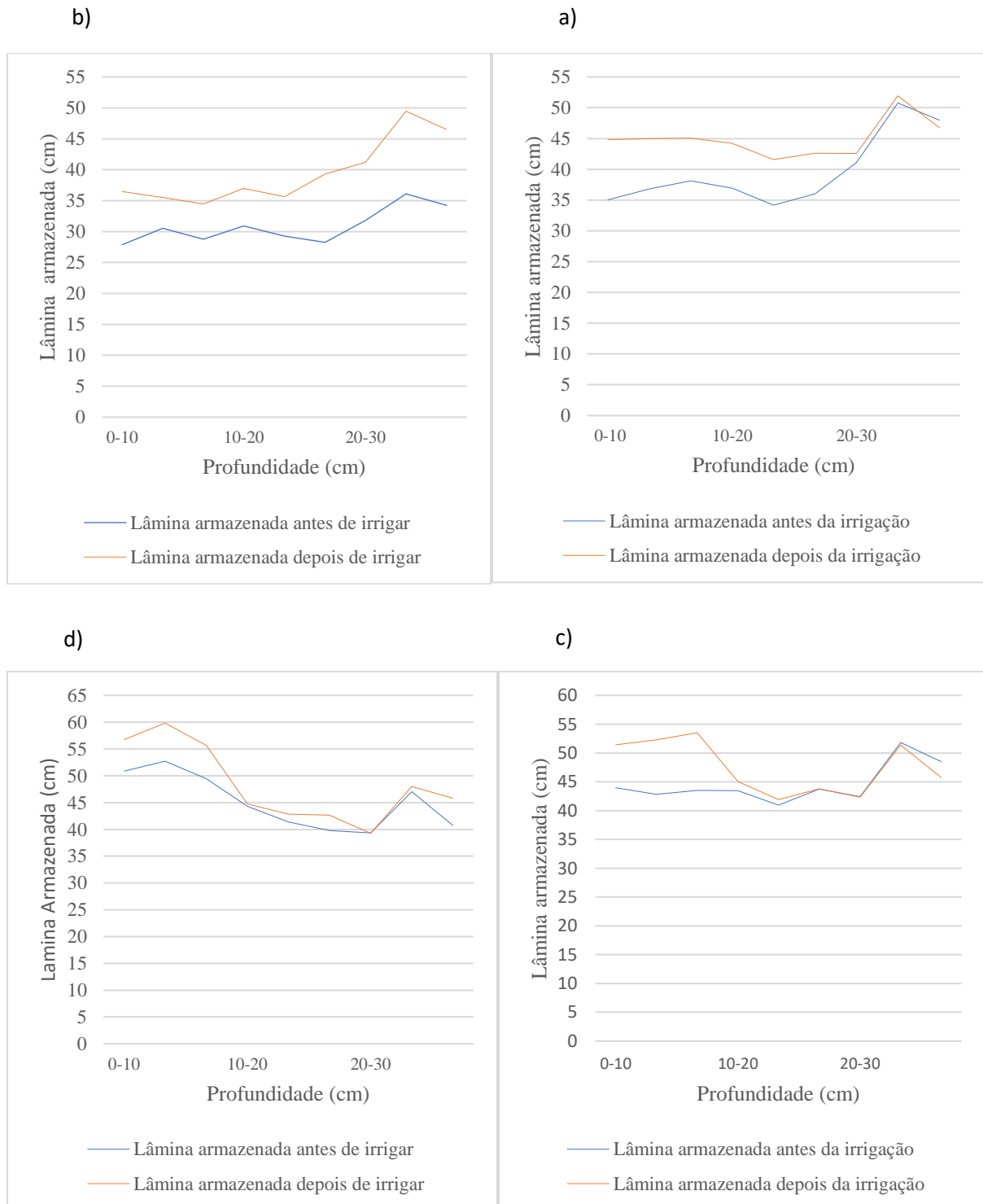


Figura 3. Lâminas armazenadas antes e depois de irrigar para o espaçamento 6x12m, em a) e b) no período da manhã para os bocais de diâmetro 4 mm e 3 mm, respectivamente, em c) e d) no período da tarde para os diâmetros de 4 mm e 3 mm, respectivamente.

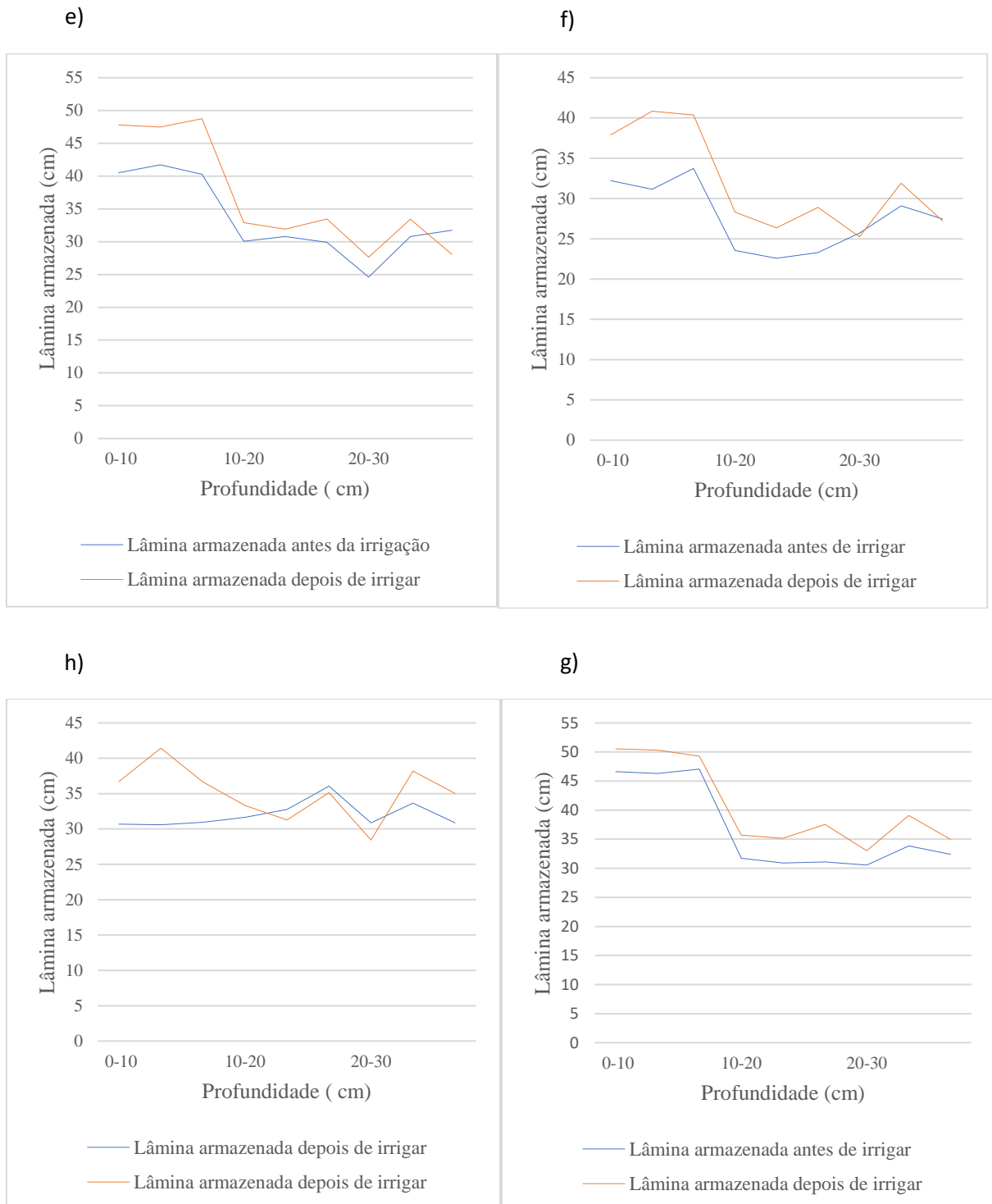


Figura 4. Lâminas armazenadas antes e depois de irrigar para o espaçamento 12x12m, em e) e f) no período da manhã para os bocais de diâmetro 4 mm e 3 mm, respectivamente, em g) e h) no período da tarde para os diâmetros de 4 mm e 3 mm, respectivamente.

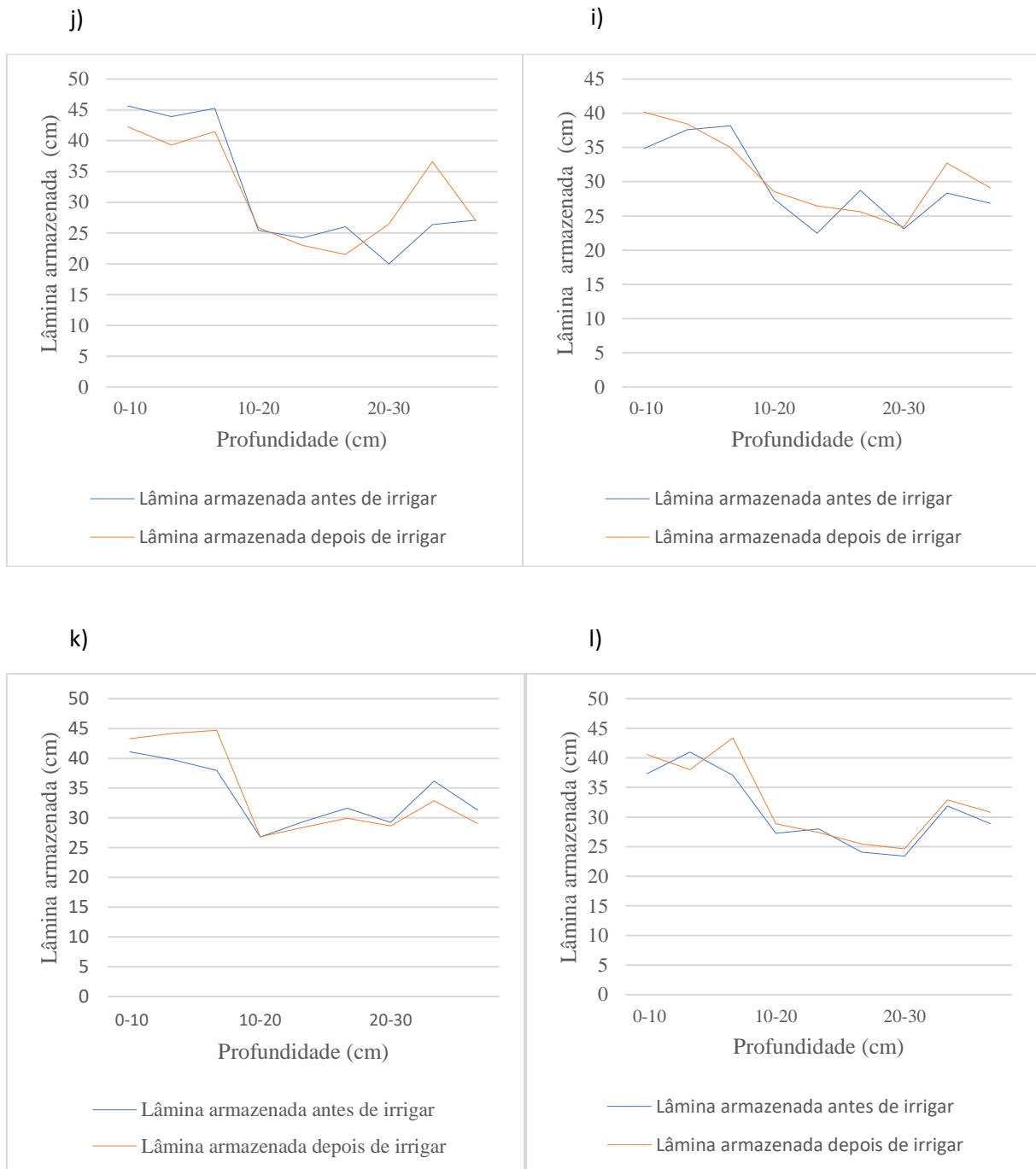


Figura 5. Lâminas armazenadas antes e depois de irrigar para o espaçamento 12x18m, em i) e j) no período da manhã para os bocais de diâmetro 4 mm e 3 mm, respectivamente, em k) e l) no período da tarde para os diâmetros de 4 mm e 3 mm, respectivamente.

Observando os gráficos nota-se que no período da manhã foi onde ocorreu as maiores diferenças entre as lâminas armazenadas antes de irrigar e as lâminas armazenadas depois de irrigar, principalmente para o espaçamento 6x12 m.

A tabela 14 mostra a análise da variância para as lâminas armazenadas no solo antes e após a irrigação no período da manhã.

Tabela 14. Análise da variância para as lâminas armazenadas no período da manhã.

Fontes de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
	Uniformidade de distribuição (%)			
Espaçamento (E)	2	1229,72	614,86	91,76 **
AI/DI	1	783,23	261,07	38,96 **
Profundidade (PR)	1	1473,47	736,73	109,95 **
E x AI/DI	2	544,46	90,74	13,54 **
E x PR	2	1552,76	388,19	57,93 **
AI/DI x PR	1	77,22	12,87	1,92 ns
E x PR x AI/DI	2	320,05	26,67	3,98 **
Resíduo	136	482,41	6,70	
Total	143	6463,36		

¹GL: graus de liberdade; ²SQ: soma de quadrados; ³QM: quadrado médio; ⁴F: F calculado; --: os tratamentos são qualitativos; **: significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; * significativo ao nível de 5%; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Analisando a tabela 14 pode-se observar que para as interações das variáveis estudadas somente não houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade no teste F para a interação entre AI/DI (antes de irrigar/depois de irrigar) e profundidade.

Para a variável espaçamento nota-se que houve uma diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade, desta forma, para identificar quais níveis do variável espaçamento diferem entre si foi realizado o teste de comparações múltiplas de médias, encontrado na tabela 12.

Avaliando a tabela 15 podemos observar que o espaçamento E1 foi o que melhor armazenou as lâminas irrigadas.

Tabela 15. Teste de médias para a variável espaçamento para as lâminas armazenadas.

Nível do fator	Média
E1¹	38,74 a
E2²	32,43 b
E3³	30,96 c

¹ E1: Espaçamento 6x12 m; ² E2: Espaçamento 12x12 m; ³E3: Espaçamento 12x18 m.

A variável AI/DI apresentou diferença significativa no teste F, desta forma foi realizado o teste de comparação de médias para identificar quais níveis do variável AI/DI diferem entre si encontrado na tabela a seguir.

Tabela 16. Testa de médias para a variável antes de irrigar/depois de irrigar para as lâminas armazenadas.

Nível do Fator AI/DI	Média
AI 1¹	30,02 c
DI 1²	34,30 b
AI 2³	34,26 b
DI 2⁴	37,60 a

¹A1: Antes de irrigar com o bocal de 4 mm; ² D1: Depois de irrigar com o bocal de 4 mm; ³ A2: Antes de irrigar com o bocal de 3 mm; ⁴D2: Depois de irrigar com o bocal de 3 mm.

Analisando a tabela 16 nota-se que as maiores lâminas armazenadas ocorreram depois de irrigar com o bocal de aspersão de diâmetro 3 mm.

A variável profundidade também apresentou diferença significativa no teste F a 5% de probabilidade, para identificarmos quais níveis da variável profundidade diferem entre si foi realizado o teste de comparações múltiplas de médias, encontrado na tabela 17.

Tabela 17. Teste de médias para as variáveis profundidade.

Fator PR	Média
PR 1¹	38,98 a
PR 2²	30,09 c
PR 3³	33,06 b

¹ PR: Profundidade (0 -10 cm);²PR: Profundidade (10 – 20 cm); ³ PR: Profundidade (20 – 30 cm);

Observando a tabela 14 nota-se que na camada mais superficial (0 -10 cm), foi onde ocorreu a maiores lâminas armazenadas.

Nas tabelas 18, 19, e 20 encontram-se as interações para as variáveis analisadas nos testes, devido ao fato de haver diferença significativa em todas as interações todas foi então aplicado o teste de comparação de médias.

Tabela 18. Interação entre as variáveis Espaçamento x AI/DI para as lâminas armazenadas antes de depois de irrigar.

Espaçamento	AI/DI			
	A1 ¹	D1 ²	A2 ³	D2 ⁴
E1 ¹	30,86 aC	39,5 aB	39,66 aB	44,94 aA
E2 ²	27,64 bC	31,9 bB	33,38 bB	36,82 bA
E3 ³	31,55 aA	31,5 bA	29,73 cA	31,05 cA

¹ E1: Espaçamento 6x12 m; ² E2: Espaçamento 12x12 m; ³E3: Espaçamento 12x18 m; ¹A1: Antes de irrigar com o bocal de 4 mm; ² D1: Depois de irrigar com o bocal de 4 mm; ³ A2: Antes de irrigar com o bocal de 3 mm; ⁴D2: Depois de irrigar com o bocal de 3 mm.

Tabela 19. Interação para as variáveis Espaçamento x Profundidade para as lâminas armazenadas antes e depois de irrigar.

Espaçamento	Profundidade		
	PR1 ¹	PR2 ²	PR3 ³
E1 ¹	36,53 bB	36,32 aB	43,36 aA
E2 ²	40,22 aA	28,5 bB	28,57 bB
E3 ³	40,18 aA	25,45 cB	27,25 bB

¹ E1: Espaçamento 6x12 m; ² E2: Espaçamento 12x12 m; ³E3: Espaçamento 12x18 m; ¹ PR: Profundidade (0 -10 cm); ²PR: Profundidade (10 – 20 cm); ³ PR: Profundidade (20 – 30 cm);

O espaçamento E3 foi o que mais diferiu significativamente dos demais espaçamentos, Ramos et al 1992, analisando a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por aspersão, aponta que somente os bocais maiores (5 e 7,5 mm e 6 e 8,5 mm), apresentam uniformidade adequada para maiores espaçamentos, o autor frisa que os valores de CUC apresentaram relação direta com os diâmetros de bocais e a pressão, considerando os maiores espaçamentos.

Tabela 20. Interação entre as variáveis Espaçamento x AI/DI x Profundidade.

ESPAÇAMENTO X PROFUNDIDADE	IRRIGAÇÕES			
	A1/B1 ¹	D1/B1 ²	A2/B2 ³	D2/B2 ⁴
E1 ¹ x PR1 ¹	29.0626 bcC	35.4794 bcB	36.6617 bcB	44.9458 aA
E1 ¹ x PR2	29.4902 bcC	37.3058 bAB	35.7083 bcdB	42.7977 abA
E1 ¹ x PR3 ³	34.0471 bB	45.7173 aA	46.6136 aA	47.0944 aA
E2 ² x PR1 ¹	32.3622 bC	39.7010 abB	40.8469 abB	48.0010 aA
E2 ² x PR2 ²	23.1448 cB	27.8594 dAB	30.2458 cdeA	32.7690 cdA
E2 ² x PR3 ³	27.4168 bcA	28.1397 dA	29.0496 deA	29.7071 dA
E3 ³ x PR1 ¹	44.9446 aA	41.0186 abAB	36.8748 bcB	37.8819 bcB
E3 ³ x PR2 ²	25.2232 cA	23.4719 dA	26.2304 eA	26.8921 dA
E3 ³ x PR ³	24.4954 cA	30.0268 cdA	26.1105 eA	28.3919 dA

¹ E1: Espaçamento 6x12 m; ² E2: Espaçamento 12x12 m; ³E3: Espaçamento 12x18 m; ¹ P1: Período da manhã; ² P2: Período da tarde; ¹ PR: Profundidade (0 -10 cm);² PR: Profundidade (10 – 20 cm); ³ PR: Profundidade (20 – 30 cm); ¹A1: Antes de irrigar com o bocal de 4 mm; ² D1: Depois de irrigar com o bocal de 4 mm; ³ A2: Antes de irrigar com o bocal de 3 mm; ⁴D2: Depois de irrigar com o bocal de 3 mm.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nas condições em que os ensaios foram conduzidos, os resultados encontrados proporcionaram as seguintes conclusões:

Por ter apresentado os maiores coeficientes de uniformidade recomenda-se a utilização do sistema de irrigação com o espaçamento 6x12 m para ambos os períodos e bocais, o que já era esperado, pois, quanto menor o espaçamento entre os aspersores maior é a uniformidade de distribuição. Para elevar a uniformidade de distribuição dos demais espaçamentos e a eficiência de aplicação uma ótima alternativa é a utilização de válvulas reguladoras de pressão que de acordo com a literatura apresentaram melhorias nesses parâmetros quando utilizadas, elevando também a economia de água. Além disso recomenda-se que os ensaios sejam realizados novamente em outras estações do ano, pois o desempenho do sistema possivelmente será diferente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, H. J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M. M.; SEDJYAMA, G. C., CECON, P. R. Influência de fatores climáticos e operacionais sobre a uniformidade de distribuição de água, em um sistema de irrigação por aspersão de alta pressão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 152-158, 2000.

AZEVEDO, J. A.; da SILVA, E. M.; RESENDE, M.; GUERRA, A. F.; Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado. Brasília, 1983, p.52. (Texto Digitado).

BALLADÃO, V. A. C. Uniformidade de distribuição de água de um pivô central no município de Goiânia-GO. Universidade Estadual de Goiás – UnUCET. ANÁPOLIS – GO, 2012. (Monografia).

BARRETO, A. C. Efeito da forma do orifício do bocal de um aspersor de baixa pressão no coeficiente de uniformidade de Christiansen. 1997. 45p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola, Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

BASTOS, A. V. S.; de OLIVEIRA, R. C.; CUNHA, F. N.; da SILVA, N. F.; BASTOS, de C. F. J.; TEIXEIRA, M. B. (2014). Uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação por autopropelido. **Irriga**, v. 1, n. 1, p. 94, 2014.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 2009. 625p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. Manual de irrigação. 8. Ed. Atual. e Ampl. Viçosa: UFV, 2006. 625p.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. Infiltração: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2006. 21 f. Apostila.

CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H.; SHOCKLEY, D.G. **Methods for evaluating irrigation systems**. Washington DC: Soil Conservation Service - USDA, 1956. 24p. Agricultural Handbook, 82.

CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkely: University of California, Experiment Station, 1942. 124p. Bulletin, 670.

de OLIVEIRA, P. M. A.; de FIGUEIREDO, F. P.; FERNANDES, R. C.; MAIA, J. T. L. S.; de OLIVEIRA, G. D.; BARBOSA, F. S. Avaliação de uniformidade e eficiência de aplicação de água em um sistema de irrigação por aspersão convencional. **Revista Brasileira de Agricultura irrigada-RBAI**, v. 3, n. 2, 2013.

de PAULA, A. L., de PAULA, F. L. M., FILHO, J. F., GAGSTETTER, A. L., CULLMANN, J. R., de MENEZES, L. F. G. Uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação por aspersão em duas alturas e dois períodos de aplicação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, XXV, São Cristovão, 08 a 15 de novembro de 2015. (CD-ROM).

de SOUZA, J. M.; PEREIRA, L. R., dos REIS, E. F.; das GRAÇAS, T. A.; da MATTA, R. A.; da CRUZ, E. A. Desempenho de um sistema de irrigação por aspersão durante os períodos diurno e noturno na região sul do Espírito Santo. **Revista Agro@ambiente**, v. 8, n. 3, p. 416-423, 2014.

dos SANTOS, N. C., SEDIYAMA, G. C., da COSTA, E. F., Soares, A. A. (1988). Uniformidade de distribuição e eficiência potencial de aplicação em um sistema de irrigação do tipo pivô central. **Revista Ceres**, v. 35, n. 201, p. 461-478, 1988.

dos SANTOS, N. C., SEDIYAMA, G., da COSTA, E. F., & SOARES, A. Armazenamento da água no solo, num sistema de irrigação do tipo pivô central em condições de cerrado. **Revista Ceres**, v. 35, n.203. p. 76-93, 1989.

FARIA, M. A.; VIEIRA, J. Irrigação por aspersão: sistemas mais usados no Brasil. **Informe Agropecuário**, v.12, n.139, p.27-39, jun. 1986.

FARIA, L. C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H. F. E. D.; PRADO, G. D. Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento. **Revista Engenharia Agrícola**, v.29, n.1, p.19-27, jan./mar. 2009.

FIETZ, C. R.; FOLEGATTI, M. V.; VIEIRA, S. R.; FRIZZONE, J. A. Efeito da variabilidade do armazenamento de água no solo na qualidade da irrigação por aspersão. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 2, p. 150-153, 1999.

FRIGO, J. P.; BOAS, M. A. V.; FRIGO, E. P.; HERMES, E.; TESSARO, E. Irrigação diurna e noturna em um sistema de aspersão convencional em Palotina-Pr. **Irriga**, v. 18, n. 2, p. 318-327, 2013.

FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. p.573- 651.

FRIZZONE, J. A. **Os métodos de irrigação**. Piracicaba: ESALQ/USP, 2017. 32p.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão: Uniformidade e eficiência**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1992. 53p.

GUIRRA, A.P.P.M.; ZANINI, J.R. E SILVA, E.R. Desempenho do aspersor NaanDanJain 435 em função da posição do defletor. **Científica**, vol. 41, n. 1, p.21-32, 2012.

GUIRRA, A.P.P.M.; ZANINI, J.R. E SILVA, E.R.; Desempenho do aspersor NaanDanJain 435 em função da posição do defletor. 2011. 67f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, São Paulo, 2011.

HART, W.E. Overhead irrigation pattern parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.42, n.7, p.354-355, 1961.

HEINEMANN, A. B.; FRIZZONE, J. A.; PINTO, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C. Influência da altura do emissor na uniformidade de distribuição da água de um sistema pivô central. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 9, p. 1487-1491, 1998.

LOPEZ, E.M. **Irrigação por aspersão**. Petrolina: Centro de treinamento em irrigação. SUDENE/MINTER-IIICA,1975. 33p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. Irrigação: princípios e métodos. Viçosa: UFV, 2006. 318 p.

MARTINS, C. A. da S.; da ROCHA, M. J. R.; dos REIS, E. F. Desempenho de um sistema de irrigação por aspersão convencional na região de Caparaó-ES. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTIFICA, XIII São José dos Campos, 15 a 16 de outubro de 2009. (CD-ROM).

MARTINS, C. A. da S.; dos REIS, E. F.; PASSOS, R. R.; GARCIA, G. de O. Desempenho de sistemas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho (*Zea mays* L.). **Idesia (Arica)**, v. 29, n. 3, p. 65-74, 2011.

MARTINS, P. E. S.; ZANINI, J. R.; da SILVA. A. F. L.; da SILVA. M. F. L. Perfil radial e uniformidade de precipitação do aspersor NaanDanJain 427, em função da regulagem do defletor. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v.16, n.1, p.3-9, 2012.

MEDEIROS, A. M. de M. Potencial de economia de energia elétrica em sistemas de irrigação a pivô central com uso de inversor de frequência no estado de Goiás. Universidade Estadual de Goiás – UnCET. ANÁPOLIS – GO, 2005. (Monografia).

MENDONÇA, F. C.; MEDEIROS, R. D.; BOTREL, T. A.; FRIZZONE, J. A. Adubação nitrogenada do milho em um sistema de irrigação por aspersão em linha. **Scientia Agrícola**, v. 56, n. 4, p. 1035-1044, 1999.

MERKLEY, G. P. Cath-3d sprinkler pattern analysis software: user's guide. Logan: Utah: BIED – Utah State University, 2004. 48 p.

OLIVEIRA, F. G.; FIGUEIREDO, F. P.; Influência do uso de aspersores e do uso de válvulas reguladoras de pressão na uniformidade de irrigação por aspersão convencional. **Revista Ceres**, v. 54, n. 316, 2007.

de OLIVEIRA, P. M. A.; de FIGUEIREDO, F. P., FERNANDES, R. C., MAIA, J. T. L. S., de OLIVEIRA G, D., BARBOSA, F. S. Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. **Revista brasileira de agricultura irrigada**, v.3, n.2, p.48-54, 2009.

RAMOS, M. M; CARVALHO, J. de A; SOARES, A. A; BERNARDO, S. Uniformidade de distribuição de água de aspersores de média pressão operando sob condições de vento nulo. **Revista Ceres**, v.40, n.229, p.297-304, 1992.

PEREIRA, L. C.; VALERO, J. A. J.; BUENDÍA, M. R. P.; MARTÍN-BENITO, J. M. T. El riego y sus tecnologías. 1. ed. Albacete: CREA-UCLM, 2010. 296P.

REZENDE. R. Desempenho de um sistema de irrigação pivô- central quanto à uniformidade e eficiência de aplicação de água abaixo e acima da superfície do solo. Piracicaba: ESALQ/ USP, 1992. 86p. Dissertação Mestrado

REZENDE R.; FRIZZONE JA; GONÇALVES ACA; FREITAS PSL. 1998. Influência do espaçamento entre aspersores na uniformidade de distribuição de água acima e abaixo da superfície do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, 2: 257- 261.

ROCHA, E. M. de M.; COSTA, R. N. T.; da SILVA, S. M. M; de 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.

SANTOS, M. A. L.; SILVA, S.; SARMENTO, P. L. V. S.; ROCHA, A. E. Q.; LIMA, R. A. S.; TEODORO, I. Uniformidade de distribuição de irrigação via aspersão em espaçamento triangular. **Workshop Internacional de Inovações Tecnológicas na Irrigação**. Fortaleza, 2012.

SANTOS, J.R.M. dos. Irrigar é preciso. *Agroanalysis*, Rio de Janeiro, v.18, n.3. p.29-34, 1998.

SALEME, D. C.; Pré-seleção de sistemas de irrigação em cana-de-açúcar, para as características da região de São Miguel dos Campos-AL. – CCA. RIO LARGO – AL, 2010. (Monografia).

SCHONS, R. L.; Avaliação de Parâmetros de Desempenho de Sistemas de Irrigação por Pivô Central Visando sua Otimização Operacional. 2006. 80f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2006.

SILVA, C. A.; SILVA C. J. Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia**, Faculdade de Agronomia e Engenharia Florestal de Garça/FAEF. Garça, SP. Ano IV, n. 8. dez. 2005. ISSN 1677 - 0293.

VILELA, L. A. A. Irrigação por autopropelido e pivô central. Lavras: FAEPE, 1999. 82p.

VANZELA, L.S., ZOCOLER, J.L., HERNANDEZ, F.B.T. Uniformidade de distribuição da água acima e abaixo da superfície do solo em um sistema de irrigação por aspersão convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, XXXI, Salvador, 29 de julho à 02 de agosto de 2002. (CD-ROM).

WRUBLEWSKI, R.; Desempenho e eficiência de aplicação de água de mini canhão de irrigação com diferentes diâmetros de bocais. Universidade Federal da Fronteira Sul. ERECHIM – RS, 2014. (Monografia).

WILCOX, J.C.; SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some under tree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, v.27, n.11, p.565-583, 1947.

APÊNDICE A. Análise da variância e teste de médias para as lâminas armazenadas antes e depois de irrigar no período da tarde.

Fontes de variação	GL ¹	SQ ²	QM ³	F ⁴
	Lâmina armazenada (cm)			
Espaçamento (E)	2	3597,77	1798,88	264,01 **
AI/DI	3	190,12	63,37	9,30 **
Profundidade (PR)		1948,86	974,43	143,01 **
E x AI/DI	6	305,25	30,95	7,46 **
E x PR		123,81	25,15	4,54 **
AI/DI x PR	4	150,94	45,42	3,69 **
E x AI/DI x PR	6	545,10	26,67	6,66 **
Resíduo	12	482,41	6,70	
Total	107	7325,46		

¹GL: graus de liberdade; ²SQ: soma de quadrados; ³QM: quadrado médio; ⁴F: F calculado; --: os tratamentos são qualitativos; **: significativo ao nível de 1% de probabilidade de erro; * significativo ao nível de 5%; ns: não significativo a 5% de probabilidade.

Nível do fator	Média
E1¹	46,38 a
E2²	36,12 b
E3³	32,83 c

¹E1: Espaçamento 6x12 m; ²E2: Espaçamento 12x12 m; ³E3: Espaçamento 12x18 m;

Nível do Fator AI/DI	Média
AI 1¹	36,92 c
DI 1²	39,24 ab
AI 2³	37,42 bc
DI 2⁴	40,19 a

¹A1: Antes de irrigar com o bocal de 4 mm; ²D1: Depois de irrigar com o bocal de 4 mm; ³A2: Antes de irrigar com o bocal de 3 mm; ⁴D2: Depois de irrigar com o bocal de 3 mm.

Fator PR	Média
PR 1¹	44,39 a
PR 2²	34,78 b

PR 3³	36,20 b
-------------------------	---------

¹ PR: Profundidade (0 -10 cm);² PR: Profundidade (10 – 20 cm); ³ PR: Profundidade (20 – 30 cm);

PÊNDICE B. Interações para lâmina armazenada antes e depois de irrigar para o período da tarde.

Lâmina armazenada (cm)					
Espaçamento	AI/DI				
	A1¹	D1²	A2³	D2⁴	
E1¹	45,07	48,4	44,58	47,49	
E2²	32,01	35,13	36,72	40,63	
E3³	33,69	34,2	30,98	32,45	
Espaçamento	Profundidade				
	PR1¹	PR2²	PR3³		
E1¹	51,07	42,88	45,2		
E2²	41,43	33,52	33,41		
E3³	40,69	27,83	29,98		
AI/DI	Profundidade				
	PR1¹	PR2²	PR3³		
A1¹	40,44	34,85	35,47		
D1²	46,58	35,01	36,14		
A2³	42,85	33,46	35,97		
D2⁴	47,7	35,65	37,21		
ESPAÇAMENTO X PROFUNDIDADE		IRRIGAÇÕES			
		A1¹	D1³	A2³	D2⁴
E1 ¹ x PR1 ¹	51.0120 aB	57.4238 aA	43.4373 abC	52.4101 aAB	
E1 ¹ x PR2 ²	41.8156 bA	43.4193 bA	42.7191 abA	43.5828 bcA	
E1 ¹ x PR3 ³	42.3913 bA	44.3613 bA	47.5860 aA	46.4945 abcA	
E2 ² x PR1 ¹	30.7395 dC	38.2711 bcB	46.6662 aA	50.0532 abA	
E2 ² x PR2 ²	33.4893 cdA	33.2519 cdA	31.2313 dA	36.1369 deA	
E2 ² x PR3 ³	31.8030 dA	33.8863 cdA	32.2661 cdA	35.7059 deA	
E3 ³ x PR1 ¹	39.5926 bcA	44.0563 bA	38.4563 bcA	40.6583 cdA	
E3 ³ x PR2 ²	29.2678 dA	28.3836 dA	26.4382 dA	27.2488 fA	
E3 ³ x PR3 ³	32.2262 dA	30.1821 dA	28.0609 dA	29.4527 efA	

¹ E1: Espaçamento 6x12 m; ² E2: Espaçamento 12x12 m; ³E3: Espaçamento 12x18 m; ¹ P1: Período da manhã; ² P2: Período da tarde; ¹ PR: Profundidade (0 -10 cm);² PR: Profundidade (10 – 20 cm); ³ PR: Profundidade (20 – 30 cm); ¹A1: Antes de irrigar com o bocal de 4 mm; ² D1: Depois de irrigar com o bocal de 4 mm; ³ A2: Antes de irrigar com o bocal de 3 mm; ⁴D2: Depois de irrigar com o bocal de 3 mm.

