

UNIVERSIDADE REGIONAL INTEGRADA DO ALTO URUGUAI E DAS MISSÕES
PRÓ REITORIA DE ENSINO, PESQUISA E PÓS GRADUAÇÃO
CAMPUS DE ERECHIM
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

WILLIAN JAIR KUHN

AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POR
MEIO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

ERECHIM - RS

2017

WILLIAN JAIR KUHN

**AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POR
MEIO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL**

**Trabalho de conclusão de curso,
apresentado a Disciplina Trabalho de
Graduação, como parte das exigências
para conclusão do Curso de Graduação
em Engenharia Agrícola e obtenção do
título de Engenheiro Agrícola.**

Orientador (a): Raquel Paula Lorensi

Erechim – RS

2017

WILLIAN JAIR KUHN

**AVALIAÇÃO DA UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POR
MEIO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL**

**Trabalho de conclusão de curso,
apresentado a Disciplina Trabalho de
Graduação, como parte das exigências
para conclusão do Curso de Graduação
em Engenharia Agrícola e obtenção do
título de Engenheiro Agrícola.**

_____, ____ de ____ de ____

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Msc. Sérgio Henrique Mosele
URI - Erechim

Prof. Dr. Jardes Bragagnolo
URI - Erechim

Prof.^a Dra. Raquel Paula Lorensi
URI - Erechim

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho de conclusão de curso aos meus pais, irmãos, familiares, e amigos que de muitas formas me incentivaram e ajudaram para que fosse possível a concretização deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas do meu convívio que acreditaram e contribuíram, mesmo que indiretamente, para a conclusão deste curso.

Aos meus pais Maria Salete Kuhn e Jair José Kuhn, pelo amor incondicional e pela paciência. Por terem feito o possível e o impossível para me oferecerem a oportunidade de estudar, acreditando e respeitando minhas decisões e nunca deixando que as dificuldades acabassem com os meus sonhos, serei imensamente grato.

A minha irmã Rosana Maria Kuhn, que mesmo inconscientemente me incentivou, a correr atrás dos meus objetivos, agradeço de coração.

Aos meus grandes amigos, que na verdade são considerados irmãos, em especial, ao Mateus Dalla Vecchia, Anderson Alberti, Gleison Yuri Dias, que me auxiliaram nas coletas dos dados, e a todos os outros meus colegas que me ajudaram diretamente na minha formação, e também a acadêmica Amanda Avozani que me ajudou na coleta de dados.

A minha orientadora Raquel Paula Lorensi, pelo empenho, paciência e credibilidade, obrigada por tudo.

RESUMO

Para que um sistema de irrigação seja eficiente se faz necessário que este apresente alta uniformidade de aplicação de água, o que leva à necessidade da verificação a eficiência através de avaliações periódicas, com a finalidade de observar se as condições de operação e desempenho previstas inicialmente durante a fase de projeto se confirmam em campo. A partir da necessidade de se avaliar a eficiência de aplicação do sistema de irrigação alguns métodos foram desenvolvidos com o objetivo de se quantificar essa eficiência, dos quais pode-se citar o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para a determinação da uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação por aspersão, sendo importante e decisivo no planejamento e na operação desses sistemas. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o CUC de distribuição de água para uma irrigação por aspersão convencional. O estudo foi desenvolvido na estação experimental da Uri campus II de Erechim, RS. Foi realizado dois testes totalizando 30 dias de avaliações. Um dos testes foi com apenas 1 aspersor, o qual ocupa 900 m², ou seja, sua área irrigada. Já outro teste utilizou 4 aspersores com área de 216 m² (área irrigada). Além da avaliação do CUC, foi observado outros elementos como: a pressão de serviço (PS), o espaçamento entre linhas laterais e aspersores, diâmetro da tubulação e dos bocais. O modelo de aspersor foi MIDI 360° da marca Fabrimar. Os resultados mostraram que para o teste com 1 aspersor, apenas uma avaliação apresentou CUC acima do mínimo. Já para o teste com 4 aspersores nenhuma das avaliações apresentaram o CUC próximo do mínimo. Estes resultados estão relacionados a incidência de vento durante a realização das avaliações, bem como diâmetro e espaçamento não condizente ao aspersor. Conclui-se que o coeficiente de uniformidade de Christiansen para o teste com 1 aspersor obteve apenas uma avaliação acima de mínimo necessário e para o teste com 4 aspersores, nenhuma das avaliações apresentaram CUC mínimo.

Palavras-chave: Eficiência. Aspersor. Pressão de Serviço. Incidência de Vento.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Relação entre CUC (%) versus velocidade do vento (m s^{-1}), para 1 aspersor na estação experimental de irrigação por aspersão convencional23

Gráfico 2 - Relação entre CUC (%) versus velocidade do vento (m s^{-1}) para 4 aspersores na estação experimental de irrigação por aspersão convencional.24

LISTA DE FIGURAS

Figura1-Estação Experimental de Irrigação Por Aspersão convencional.....	15
Figura 2 - Layout do sistema de irrigação.....	17
Figura 3 - Área com a malha de copos dentro da área de 4 aspersores com espaçamento de 12x18m na Estação Experimental de Irrigação Por Aspersão Convencional do Departamento de Ciências Agrárias	17
Figura 4 - Área com a malha de copos ao redor do aspersor com espaçamento de 12x18m na Estação Experimental de Irrigação Por Aspersão Convencional do Departamento de Ciências Agrárias.....	18
Figura 5 - Área com a malha de copos ao redor do aspersor com espaçamento de 12x18m na Estação Experimental de Irrigação Por Aspersão Convencional do Departamento de Ciências Agrárias.....	19
Figura 6 - Aspersor MIDI 360°	20

Sumário

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	12
2.1	Objetivo geral:	12
3	MARCO TEÓRICO DE REFERÊNCIA	13
4	METODOLOGIA	15
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	22
6	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO	26
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	27
	APÊNDICES	29
	ANEXO	32

1 INTRODUÇÃO

O uso da água na agricultura representa, a nível mundial, cerca de 70% de toda a água doce, enquanto a indústria utiliza 23% e o abastecimento humano, 7% (Santos, 1998). Isto demonstra a necessidade dos irrigantes, seus principais usuários, em usá-la com a maior eficiência possível, face às reservas de água utilizável estarem cada vez mais escassas, especialmente nas regiões onde são mal distribuídas temporalmente, como na região semiárida do Nordeste brasileiro.

A irrigação é uma técnica milenar que tem como finalidade disponibilizar água às plantas para que estas possam produzir de forma adequada, e fazendo com que as plantas se tornem mais uniformes. As técnicas de irrigação, ao longo dos séculos, vêm sendo muito aprimoradas, pois, quanto mais eficiente o sistema de irrigação menor será o seu consumo de água, luz e outros fatores que fazem com que aumentem os custos de sua implantação, e muitas vezes não se tornarem viáveis.

Para que um sistema de irrigação seja eficiente se faz necessário que este apresente alta uniformidade de aplicação de água, o que leva à necessidade da verificação a eficiência através de avaliações periódicas, com a finalidade de observar se as condições de operação e desempenho previstas inicialmente durante a fase de projeto se confirmam em campo (CAMPÊLO et al., 2014). Porém, os irrigantes não costumam realizar tais práticas e acabam não utilizando da forma adequada a tecnologia que lhes é disponibilizada, por falta de conhecimento e até mesmo por falta de orientação técnica (SILVA & SILVA, 2005).

O sistema de irrigação por aspersão vem crescendo significativamente em regiões com relevo mais acentuado, onde dificulta a montagem de pivôs de irrigação (STONE, 2016). Conforme o autor, a irrigação vem como um dos fatores principais na produção agrícola, pois com ela está se obtendo produções mais significativas, mas para isso a irrigação deve ser planejada e dimensionada, para atender as necessidades da cultura.

Para que não haja perdas neste sistema a montagem deve ser feita de forma eficiente, pois o fator água, que é considerado o mais importante para que o sistema funcione, pois sem este fator não dá para se realizar uma irrigação eficiente. A água está se tornando cada vez mais escassa, por diversos fatores, entre eles a qualidade a ser utilizada (SILVA et al., 2016).

A partir da necessidade de se avaliar a eficiência de aplicação do sistema de irrigação alguns métodos foram desenvolvidos com o objetivo de se quantificar essa eficiência, dos quais pode-se citar o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), um dos mais utilizados para a determinação da uniformidade de aplicação de água de um sistema de irrigação por aspersão, sendo importante e decisivo no planejamento e na operação desses sistemas (BERNARDO et al., 2009).

Na irrigação por aspersão convencional o sistema precisa ser avaliado após a implantação do projeto, visando verificar se o seu desempenho está de acordo com o que foi preestabelecido no projeto, possibilitando se caso necessário, a realização de ajustes para melhorar a sua performance e, periodicamente, com o objetivo de avaliar a qualidade da manutenção e do manejo do sistema.

Portanto, este trabalho teve como objetivo avaliar a uniformidade de distribuição de água de um aspersor em irrigação por aspersão convencional na Estação Experimental da URI Campus II de Erechim, RS.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral:

Avaliar o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) para uma irrigação por aspersão convencional experimental com 1 e 4 aspersores.

3 MARCO TEÓRICO DE REFERÊNCIA

Segundo Bernardo *et al.* (2009), instabilidades climáticas com consequências diretas na distribuição de chuvas têm levado os produtores rurais a adotarem a irrigação como tecnologia indispensável ao desenvolvimento normal das culturas de interesse agrônômico. Entre os vários sistemas de irrigação, a aspersão convencional tem sido utilizada em pequenas e médias propriedades devido a sua ampla aplicabilidade. Neste sistema de irrigação, a água é aspergida sobre as plantas, simulando uma chuva natural.

Os aspersores de média pressão trabalham a uma pressão de 20 à 40 mH₂O. Estes são os mais utilizados em irrigação portátil e semiportátil, pois, eles se adaptam a qualquer tipo de cultura e de solo (BERNARDO *et.al.*, 2006).

Geralmente os aspersores são rotativos por impacto ou apresentam outro mecanismo para a disposição da água e apresentam dois bocais, um de alcance mais longo e o outro com um alcance menor e o raio de alcance pode variar de 12m a 40m (BERNARDO *et.al.*, 2009).

Na irrigação por aspersão o sistema deve ser avaliado após a sua implantação e esporadicamente (FRIZZONE, 1992). Segundo o mesmo autor esta avaliação tem a função de verificar se o sistema está trabalhando conforme previsto no projeto. Para avaliar estes sistemas são utilizados o coeficiente de uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação de água.

Para Bernardo *et al.* (2009), muitos coeficientes são usados para expressar a variabilidade de distribuição da água aplicada por um sistema de irrigação por aspersão, na superfície do solo. Um deles foi proposto por Christiansen em 1942 e adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão, ou seja, é o coeficiente de uniformidade de aplicação (CUC).

Christiansen (1942) foi o primeiro pesquisador que estudou a uniformidade de distribuição da água para aspersores rotativos, determinando o efeito da pressão de serviço, do espaçamento, da rotação e da velocidade do vento sobre a distribuição da água; estabeleceu o parâmetro conhecido como coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC).

Frizzone (1992) cita que o coeficiente de uniformidade expressa a variabilidade da lâmina de irrigação aplicada na superfície do solo em relação à lâmina média aplicada, por meio de medidas de dispersão expressas na forma adimensional. A

baixa eficiência de aplicação da irrigação por aspersão está relacionada com a não-uniformidade de distribuição de água e com as perdas de água por evaporação e arrastamento pelo vento.

A avaliação da operação dos sistemas de irrigação está ligada a diversos parâmetros no desempenho, definidas em determinações de campo, como vazão, tempo de irrigação e uniformidade de aplicação de água, nos quais são considerados fundamentais para tomadas de decisões em relação ao diagnóstico do sistema. Porém, aos produtores é considerada uma tarefa de pouca importância, mesmo quando disponibilizam de tecnologia, mas lhes faltam orientação e conhecimento (SILVA; SILVA, 2005).

A uniformidade de distribuição de água é essencial em qualquer método de irrigação, pois afeta a eficiência do uso da água e como consequência, a quantidade e a qualidade da produção. Em sistemas de irrigação por aspersão a uniformidade de aplicação de água pode ser expressa por meio de vários coeficientes, destacando-se o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC). Santos et al. (2003) sustentam que a uniformidade influenciará o custo da irrigação, assim como o desempenho da cultura. Áreas irrigadas que apresentam baixa uniformidade de aplicação de água favorecerão o desenvolvimento desuniforme das plantas cultivadas, pois algumas recebem mais água que outras.

MERRIAN & KELLER (1978) afirmam que, para culturas de alto rendimento econômico, com sistema radicular raso, a irrigação por aspersão deve apresentar alta uniformidade de distribuição. O CUC deve ser superior a 88%. Para cultivos com sistema radicular médio, o CUC pode variar entre 80 e 88%. Em culturas com sistema radicular profundo, o CUC pode variar entre 70 e 80%.

4 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido na Estação Experimental de Irrigação Por Aspersão Convencional do Departamento de Ciências Agrárias, da Universidade Regional e Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus de Erechim, RS, que está localizada em uma altitude de 711 m e, coordenadas geográficas de 27°36'42" S e 52°13'53" W. (Figura 1). O referido trabalho foi conduzido por 4 meses.

Figura 1 – Estação Experimental de Irrigação Por Aspersão Convencional.



Fonte: Google earth pro

De acordo com o proposto este trabalho foi instalado na Estação Experimental de Irrigação com aspersor da marca Fabrimar, no qual foram realizados testes de uniformidade de distribuição de água (CUC).

Os testes foram realizados de duas formas. Uma delas, os copos medidores foram distribuídos dentro da área dos 4 aspersores, figuras 2 e 3.

O *layout* do sistema de irrigação com 4 aspersores (Figura 2), possui uma área de 216 m² irrigado. O seu funcionamento caracterizou-se com um aspersor por linha lateral instalando-se a 1,5 m de altura e operando simultaneamente. O desnível geométrico entre a primeira e a última linha lateral foi de 2 metros.

Figura 3 - Área com a malha de copos dentro da área de 4 aspersores com espaçamento de 12x18m na Estação Experimental de Irrigação Por Aspersão Convencional do Departamento de Ciências Agrárias.

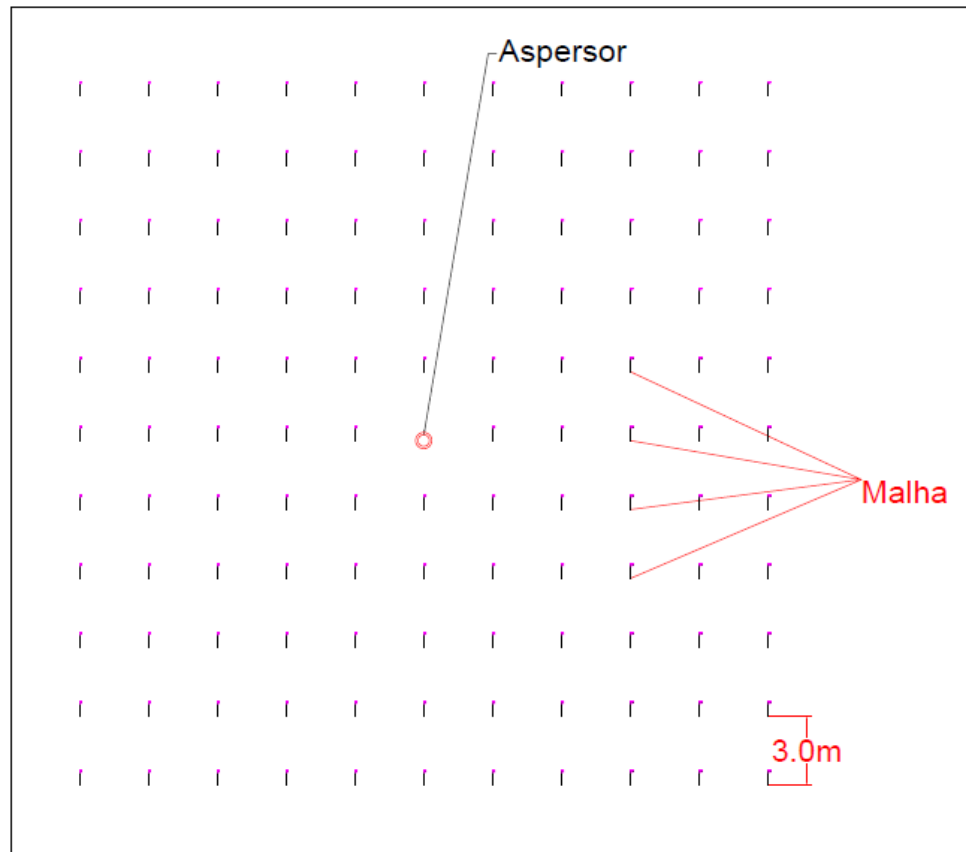


Fonte: Willian Jair Kuhn

A outra forma foi realizada com apenas 1 aspersor no sistema. Foi disposta a malha com os copos medidores ao redor do aspersor (Figura 4 e 5).

O *layout* do sistema de irrigação com 1 aspersor apresenta-se na Figura 4, possuindo área irrigada de 900 m². O seu funcionamento caracterizou-se com um aspersor implantado em uma das linhas laterais do sistema, o qual foi instalado a 1,5 m de altura (Figura 5).

Figura 4: *Layout* do sistema de irrigação por aspersão convencional com 1 aspersor.



Fonte: Willian Jair Kuhn

Figura 5 - Área com a malha de copos ao redor do aspersor com espaçamento de 12x18m na Estação Experimental de Irrigação Por Aspersão Convencional do Departamento de Ciências Agrárias.



Fonte: Willian Jair Kuhn

O primeiro diâmetro de bocais a ser utilizado foi 6,4 x 3,2 mm (Figura 6), com vazão do aspersor variando de 3,08 a 3,64 m³ h⁻¹ na pressão de 25 a 35 mca. O segundo bocal utilizado foi o de 5,6 x 3,2mm (Figura 6) com uma vazão de 2,44 a 2,66 m³ h⁻¹ na pressão de 25 a 30 mca.

Figura 6 - Aspersor modelo MIDI 360° da marca Fabrimar.

		pressão na base (mca)	vazão total m³/h	diâmetro irrigado (m)	espaçamento máx. recomendado	
					A x L (m x m)	peq (mm/h)
combinação de bocais (mm x mm)	4,0 x 2,8	20	1,29	26	12x18	6,0
		25	1,44	27	12x18	6,7
		30	1,59	27	12x18	7,4
		35	1,73	27	18x18	5,3
	4,2 x 3,0	20	1,36	27	12x18	6,3
		25	1,52	28	12x18	7,0
		30	1,69	28	12x18	7,8
		35	1,84	28	18x18	5,7
	4,4 x 3,2	20	1,59	27	12x18	7,4
		25	1,80	28	12x18	8,3
		30	1,98	30	12x18	9,2
		35	2,13	30	18x18	6,6
	4,8 x 3,2	20	1,81	28	12x18	8,4
		25	2,02	28	12x18	9,4
		30	2,20	30	18x18	6,8
		35	2,39	30	18x18	7,4
	5,2 x 3,2	20	2,02	28	12x18	9,4
		25	2,27	29	12x18	10,5
		30	2,48	30	18x18	7,7
		35	2,69	30	18x18	8,3
	5,6 x 3,2	25	2,44	31	18x18	7,5
		30	2,66	31	18x18	8,2
		35	2,90	32	18x18	9,0
		40	3,08	33	18x24	7,1
	5,8 x 3,6	25	2,72	31	18x18	8,4
		30	2,95	33	18x18	9,1
		35	3,23	35	18x24	7,5
		40	3,45	37	24x24	6,0
	6,4 x 3,2	25	3,08	31	18x18	9,5
		30	3,36	33	18x24	7,8
		35	3,64	35	24x24	6,3
		40	3,90	38	24x24	6,8

Fonte: [http://www.fabrimar.com.br/arquivos/produtos/994/fabrimar\(994\)_manual_tabela-de-desempenho-eco.pdf](http://www.fabrimar.com.br/arquivos/produtos/994/fabrimar(994)_manual_tabela-de-desempenho-eco.pdf).

Foi utilizado para a linha de sucção, recalque, linha principal e linhas laterais tubulações com diâmetros de 50 mm, totalizando 109 m (Apêndice A).

Para fazer a coleta dos dados escolheu-se um aspersor em função do tamanho da área do experimento, pois a mesma não comportava aspersor de diâmetro maior. Diante disso, o aspersor utilizado foi do modelo MIDI 360° da marca Fabrimar, apresentado anteriormente, com um espaçamento entre aspersores de 12x18m entre aspersor e linha lateral, respectivamente. Para cada teste foi computado 1 hora.

O coeficiente de Christiansen (CUC) considerado por muitos autores o principal parâmetro para descrever a uniformidade de irrigação. Diante disso, a equação 1 descreve o CUC, a qual analisa a eficiência de um sistema de irrigação.

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n * \bar{x}} \right] \quad \text{Eq. (1)}$$

CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen, %;

x_i = Precipitação obtida no coletor de ordem i (ml);

$\bar{x}$ = Precipitação média dos coletores (ml);

n = Número de amostras coletadas.

Foram realizadas as coletas das lâminas de irrigação e da pressão de serviço no ponto mais baixo e mais alto dentro do sistema de irrigação. Depois de coletados esses dados, em campo, foi possível avaliar o CUC do sistema.

A coleta dos dados foi realizada durante um mês em diferentes dias e diferentes horários.

No apêndice B apresentam-se os cálculos do projeto de irrigação, ou seja, diâmetros das tubulações (lateral, principal, recalque e sucção), acessórios, aspersores e conjunto moto bomba. O acionamento do conjunto moto bomba se dá por meio de energia elétrica trifásica.

O diâmetro da linha lateral foi usado 50 mm (Apêndice A), pois não havia tubulação de 32 mm (Apêndice B - cálculo do projeto) disponível no Campus.

Para a irrigação usou-se água superficial, a qual foi feito o pedido de outorga do direito de uso da água junto ao DRH/ SEMA. Este pedido foi realizado por meio de um trabalho de graduação do curso de Agronomia da URI/Erechim no corrente ano, obtendo-se o número de protocolo nº2017/006.182.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados a seguir (Tabela 1) contemplam os resultados obtidos durante um período de 30 dias de testes, com o aspersor MIDI 360°, realizados na Estação Experimental de Irrigação Por Aspersão Convencional do Departamento de Ciências Agrárias, da Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões - Campus de Erechim, RS.

Tabela 1- Dados obtidos em campo durante o período de testes do CUC com o aspersor MIDI 360°.

Data	Hora		Vel. Vento (m/s)	P.S.* Aspersor (mca)	P.S*. (MB) (mca)	Diâmetro do bocal (mm)	Nº de aspersores	Nº de coletores	CUC* (%)
	Início	Final							
11/04/17	14:25	15:25	2,9	34,6	41	6,4 x 3,2	1	64	73
18/04/17	08:43	09:43	1,0	34,6	41	6,4 x 3,2	1	64	77
22/04/17	07:34	08:34	0,0	34,6	41	6,4 x 3,2	1	64	83
06/05/17	14:57	15:57	0,8	24,6	31	6,4 x 3,2	4	70	71
06/05/17	17:07	18:07	0,8	24,6	31	6,4 x 3,2	4	70	71
10/05/17	12:15	13:15	2,1	29,6	36	6,4 x 3,2	4	70	70
10/05/17	13:57	14:57	1,9	29,6	36	6,4 x 3,2	4	70	59
10/05/17	15:28	16:28	1,4	29,6	36	6,4 x 3,2	4	70	59
17/05/17	14:30	15:30	1,3	29,6	36	5,6 x 3,2	4	70	69

*PS= Pressão de serviço *CUC= Coeficiente de uniformidade de Christiansen

Como pode se observar na Tabela 1, para a metodologia com 1 aspersor obteve-se três leituras. Destas três leituras a que obteve melhor desempenho, ou seja, apresentou um CUC próximo do mínimo, CUC 80%, foi o terceiro teste com um CUC 83% no dia 22/04/2017. Este resultado vai ao encontro de Mantovani et. al., (2009); Frizzone & Dorado Neto (2003); Bernardo (1995); Keller & Bliesner (1990), Cristhiansen, (1942) onde a maior parte das irrigações por aspersão requer um CUC com valor mínimo de 80% para ser considerado aceitável porém, para culturas com pastagens, valores de CUC acima de 75% são satisfatórios (MARTÍN-BENITO, 1995).

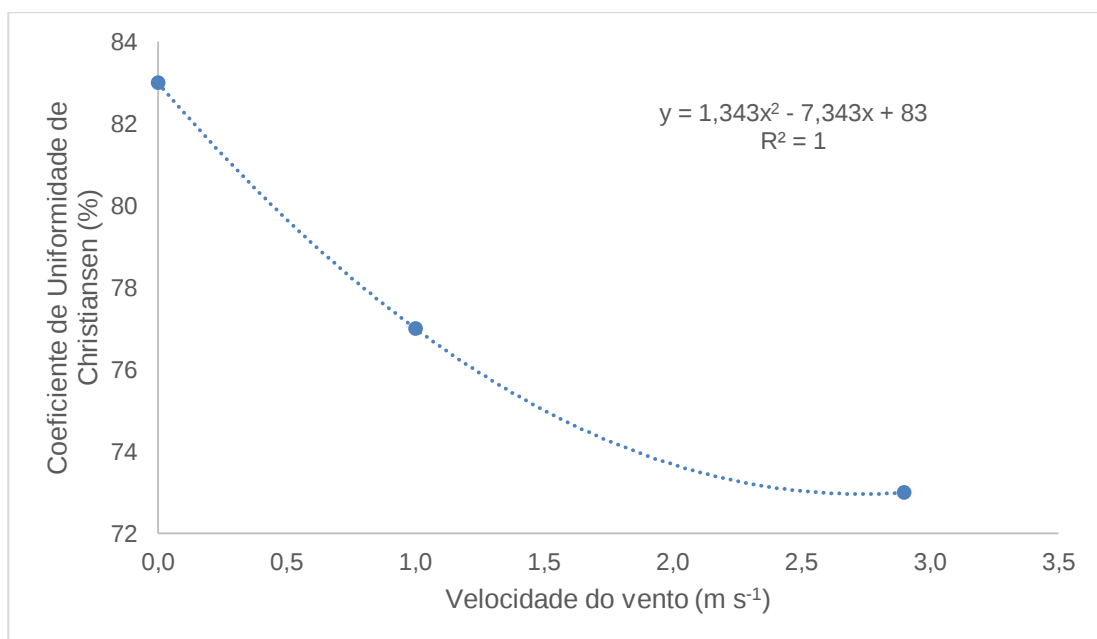
Este teste, do dia 22/04/2017, foi realizado no início da manhã quando não houve registro de vento (0 m s^{-1}). Os outros dois testes os coeficientes ficaram abaixo do mínimo, ou seja, apresentaram coeficiente de 73% e 77% para velocidade do vento de 2,9 e $1,0 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente (Tabela 1). Segundo a Escala de Beaufort (Anexo A), a velocidade do vento ficou entre calmaria e aragem, ou seja, variou de 0,0 a $2,9 \text{ m s}^{-1}$. Diante disso, os resultados mostraram que a velocidade do vento foi um dos

fatores que interferiu diretamente para a diminuição do coeficiente, ou seja, quanto maior a velocidade do vento menor o CUC (Gráfico 1).

Mas, outros fatores podem ter influenciado para um coeficiente abaixo do mínimo como, por exemplo, o diâmetro da tubulação da linha lateral, a qual deveria ser 32mm (Apêndice B) e foi utilizado 50mm (Apêndice A).

O resultado do gráfico 1 vai ao encontro de Azevedo et al., (2000), os quais encontraram que a velocidade do vento é um dos principais fatores que influenciam na uniformidade de aplicação de um sistema de irrigação por aspersão convencional, ou seja, quanto maior o vento menor o CUC. Estes dados apresentaram resultado de um ajuste matemático polinomial de segunda ordem, apresentando um R^2 de 1,00.

Gráfico 1 - Relação entre CUC (%) versus velocidade do vento (m s^{-1}), para 1 aspersor na estação experimental de irrigação por aspersão convencional.



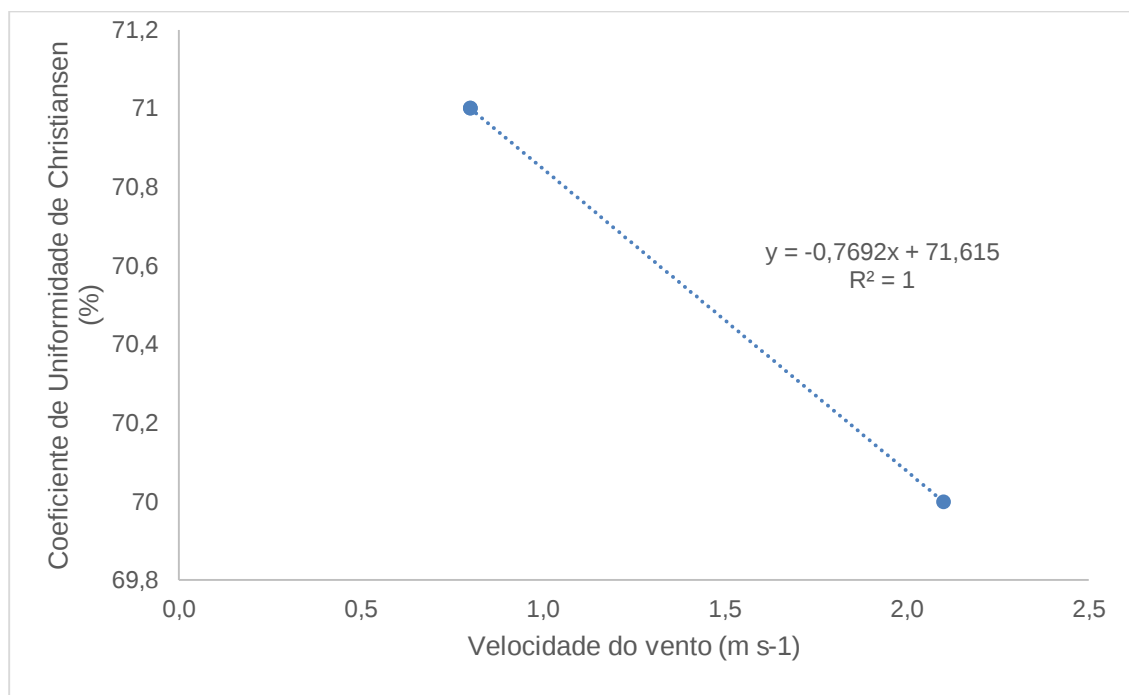
Fonte: Willian Jair Kuhn

Ainda sobre o teste com 1 aspersor observou-se que o sistema apresenta equilíbrio das pressões (Tabela 1). A pressão de serviço ficou com 34,6 mca, ou seja, ficou dentro da faixa do catálogo do aspersor (Figura 5) que apresentou pressão de 30 a 35 mca. Conforme o catálogo o diâmetro irrigado do aspersor vai depender diretamente com a pressão encontrada no aspersor, pois quanto maior for a pressão de serviço maior será a área irrigada pelo mesmo. Diante disso, o processo de aplicação de água no sistema de irrigação por aspersão depende principalmente do

perfil de distribuição de água do aspersor, que é determinado pelo tipo de aspersor, tipo e número de bocais e pela pressão de serviço do aspersor; do layout dos aspersores, referente à forma de distribuição dos aspersores em campo e ao espaçamento entre aspersores; e da velocidade e direção do vento, sendo este fator o que mais influencia na distorção da uniformidade de distribuição, tendo papel importante nas perdas por evaporação e arraste pelo vento durante a aplicação (OLIVEIRA & FIGUEIREDO, 2007).

Em relação ao teste com 4 aspersores, foram realizadas seis avaliações e percebeu-se que em todas o CUC ficou abaixo do mínimo (Tabela 1). Nenhuma avaliação ficou com um CUC acima de 80%, pois a incidência de vento (Gráfico 2), diâmetro da tubulação e espaçamento entre aspersores influenciaram diretamente no cálculo do CUC, conforme descrito acima. Estes dados apresentaram resultado de um ajuste matemático polinomial de primeira ordem, apresentando um R^2 de 1,00.

Gráfico 2 - Relação entre CUC (%) versus velocidade do vento (m s^{-1}) para 4 aspersores na estação experimental de irrigação por aspersão convencional.



Fonte: Willian Jair Kuhn

O outro fator que pode ter interferência direta no resultados do CUC, do teste com 4 aspersores, é o espaçamento entre aspersores. Neste trabalho usou-se o espaçamento de 12x18m (Apêndice A). Este espaçamento foi usado devido a

realização da montagem da tubulação antes da compra do aspersor, mas conforme calculado no projeto (Apêndice B) o espaçamento correto para este aspersor seria 18x18m.

Observa-se ainda, na tabela 1, a desuniformidade da pressão, ou seja, variou de 24,6 a 29,6 mca, mas ficando dentro da faixa aceitável do catálogo (Figura 6). Este resultado pode ter ocorrido devido a condição topográfica do terreno (2 metros de desnível) e pelas perdas de carga ocorridas no sistema. Esta variação de pressão, aliada à das dimensões dos bocais dos aspersores, provocaram variação de vazão de $3,08 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ a $3,64 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ (Figura 6).

As avaliações do dia 10/05/2017, tabela 1, por não haver variação no CUC, não se gerou gráfico. E o teste do dia 17/05/2017, por apresentar apenas um resultado com diferente bocal, também não se gerou gráfico, mas mesmo assim como pode se observar na tabela 1, com a substituição de um dos bocais já pode-se observar uma evolução de 10% no CUC, comparado com os dois testes anteriores.

6 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO

Conclui-se que o coeficiente de uniformidade de Christiansen para 1 aspersor obteve-se apenas uma avaliação acima de mínimo necessário, e o coeficiente de Christiansen para 4 aspersores, nenhuma avaliação apresentou o CUC mínimo.

O recomendado para os próximos trabalhos é a substituição da tubulação da linha lateral, trocando o diâmetro de 50 para 32m conforme foi calculado no projeto, e também utilizar o espaçamento correto entre aspersor, conforme o recomendado no catálogo do fabricante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZEVEDO, H.J.; BERNARDO, S.; RAMOS, M.M.; SEDIYAMA, 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**, Campina Grande, v.4, n.2, p.152-158, 2000.

BERNARDO S. (1995) **Manual de irrigação**. 6ed. Viçosa: Imprensa Universitária. 657p.

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

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

CHRISTIANSEN J. E. (1942). **Irrigation by sprinkling**. Berkeley, University of California. 124p. (BULL, 670).

FABRIMAR. IRRIGAÇÃO. Disponível em: <[http://www.fabrimar.com.br/arquivos/produtos/993/fabrimar\(993\)_manual_tabela-de-desempenho-midi.pdf](http://www.fabrimar.com.br/arquivos/produtos/993/fabrimar(993)_manual_tabela-de-desempenho-midi.pdf)>. Acesso em: 04 de nov. de 2016.

FRIZZONE, J.A. **Irrigação por aspersão**. Piracicaba: ESALQ – Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53p. Série Didática, 3.

FRIZZONE JA & DOURADO NETO D (2003) **Avaliação de sistemas de irrigação**. In: Jarbas Honório de Miranda & Regina Célia de Matos Pires (Eds.) **Irrigação**. Piracicaba, FUNEP. Vol. 2. 703p. (Série Engenharia Agrícola).

KELLER J & BLIESNER R.D. (1990) **Sprinkle and trickle irrigation**. New York, Van Nostrand Reinhold. 652p.

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

MARTÍN-BENITO J.M.T (1995) **El riego por aspersión y su tecnología**. Madri: Mundi-Prensa. 491p.

MERRIAN JL & KELLER J (1978) **Farm irrigation system evaluation**: a guide for management. Logan, Utah State University. 271p

SILVA,V. P. da; FOLEGATTI,M.V.; DUARTE,S.N. **IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO E LOCALIZADA**. Disponível em:<<http://www.agr.feis.unesp.br/curso1.htm>>. Acesso em: 21 de nov. 2016.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. **Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, Garça, n.8, dez. 2005.

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

SANTOS, R. A.; HERNANDEZ, F. B. T.; FERREIRA, E. J. S.; VANZELA, L. S.; LIMA, R. C. **Uniformidade de distribuição de água em irrigação por gotejamento em sub-superfície instalado na cultura de pupunheiras** (*Bactris gasipaes* H. B. K.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. Acesso em: 23 jun. 2017.

STONE, L. F. **Irrigação por aspersão**. 2016. AGEITEC. Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em:

APÊNDICE

Apêndice A – Quadro dos itens do sistema de irrigação implantado em campo.

Itens	Unidade	Modelo/bitola	Quantidade
Potência do conjunto moto bomba	cv	3	1
Diâmetro da linha de sucção	mm	50	
Diâmetro da linha de recalque	mm	50	
Diâmetro da linha principal	mm	50	
Diâmetro da linha lateral	mm	50	
Aspersor	uni.	MIDI 360°	4
Diâmetro do bocal	mm	6,4x3,2	4
Diâmetro irrigado	m	31	
Espaçamento entre aspersor do sistema irrigação	m	12x18	
Comprimento da linha de sucção	m		1
Comprimento da linha de recalque	m		36
Comprimento da linha principal	m		36
Comprimento da linha lateral	m		24
Tê	mm		1
Curva de PVC 90°	mm	50	1
Registros PVC	mm	32	4
Registro PVC	mm	50	2
Registro de gaveta	mm	50	1
Válvula de retenção	mm	50	1
Filtro de disco	mm	50	1
Manômetro	uni.		2
Redução	mm	50x32	4
Adaptador	mm	32x1	4
Derivação	mm	50	3
Tampão	mm	50	1
Luva	mm	50	1
Ponteira com rosca	mm	50	4

Apêndice B – Quadro dos itens conforme o cálculo do projeto.

Itens	Unidade	Modelo/bitola	Quantidade
Potência do conjunto moto bomba	cv	3	1
Diâmetro da linha de sucção	mm	50	
Diâmetro da linha de recalque	mm	50	
Diâmetro da linha principal	mm	50	
Diâmetro da linha lateral	mm	32	
Aspersor		MIDI 360°	4
Diâmetro do bocal	mm	5,6x3,2	4
Diâmetro irrigado	m	31	
Espaçamento entre aspersor do sistema irrigação	m	12x18	
Comprimento da linha de sucção	m		1
Comprimento da linha de recalque	m		36
Comprimento da linha principal	m		36
Comprimento da linha lateral	m		24
Tê	mm		1
Curva de PVC 90°	mm	50	1
Registros PVC	mm	32	4
Registro PVC	mm	50	2
Registro de gaveta	mm	50	1
Válvula de retenção	mm	50	1
Filtro de disco	mm	50	1
Manômetro			2
Redução	mm	50x32	4
Adaptador	mm	32x1	4
Derivação	mm	50	3
Tampão	mm	50	1
Luva	mm	50	1
Ponteira com rosca	mm	50	4

ANEXO

Anexo A – Escala de Beaufort

Força	Designação	Velocidade km/h	Influência nos objetos em Terra.
0	CALMARIA	0 a 1	A fumaça sobe verticalmente.
1	BAFAGEM	2 a 6	A direção da bafagem é indicada pela fumaça, mas a grimpia ainda não reage.
2	ARAGEM	7 a 12	Sente-se o vento no rosto, movem-se as folhas das árvores e a grimpia começa a funcionar.
3	FRACO	13 a 18	As folhas das árvores se agitam e as bandeiras se desfaldam.
4	MODERADO	19 a 26	Poeira e pequenos papéis soltos são levantados. Movem-se os galhos das árvores.
5	FRESCO	27 a 35	Movem-se as pequenas árvores. Nos lagos a água começa a ondular.
6	MUITO FRESCO	36 a 44	Assobios na fiação aérea. Movem-se os maiores galhos das árvores. Guarda-Chuva usado com dificuldade.
7	FORTE	45 a 54	Movem-se as grandes árvores. É difícil andar contra o vento.
8	MUITO FORTE	55 a 65	Quebram-se os galhos das árvores. É difícil andar contra o vento.
9	DURO	66 a 77	Danos nas partes salientes das árvores. Impossível andar contra o vento.
10	MUITO DURO	78 a 90	Arranca árvores e causa danos na estrutura dos prédios.
11	TEMPESTUOSO	91 a 104	Muito raramente observado em terra.
12	FURACÃO	Acima de 105	Grandes estragos.

Fonte: <http://mangueerestinganailhadocardoso.blogspot.com.br/p/para-ir-campo.html>