REGULAGENS DE ASPERSORES E SEUS EFEITOS SOBRE A UNIFORMIDADE
DE APLICAÇÃO DE ÁGUA E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

RUBENS DUARTE COELHO

Orientador: Prof. Dr. MARCOS VINÍCIUS FOLEGATTI

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Irrigação e Drena-
gem.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Junho - 1990

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Coelho, Rubens Duarte

C672r Regulagens de aspersores e seus efeitos sobre a
uniformidade de aplicação de água e produtividade
das culturas. Piracicaba, 1990.
141p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Aspersor - Água - Distribuição 2. Aspersor -
Regulagem - Característica física 3. Cultura agrí-
cola - Produtividade - Efeito da regulagem do asper-
sor 4. Irrigação por aspersão - Ensaio I. Escola Su-
perior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.7

REGULAGENS DE ASPERORES E SEUS EFEITOS SOBRE A UNIFORMIDADE
DE APLICAÇÃO DE ÁGUA E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

RUBENS DUARTE COELHO

Aprovada em: 13.07 90

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Marcos Vinícius Folegatti	ESALQ/USP
-------------------------------------	-----------

Prof. Dr. Tarlei Arriel Botrel	ESALQ/USP
--------------------------------	-----------

Prof. Dr. Fazal Hussain Chaudhry	EESC/USP
----------------------------------	----------

Prof. Dr. Marcos Vinícius Folegatti
Orientador

Dedico à todos aqueles que não
tiveram esta minha oportunidade

Ofereço à minha esposa Cláudia e aos
meus pais e irmãos Luiz, Vera, José
Luis e Raquel

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Marcos Vinicius Folegatti pela orientação, apoio e amizade.

Ao Prof. Dr. Antonio Fernando Lordelo Olitta pela coordenação do curso.

Ao Prof. Dr. Antonio Sanchez de Oliveira pelo incentivo à execução do curso.

Ao Departamento de Engenharia Rural - ESALQ-USP pelo custeio do experimento.

Aos Profs. do Departamento de Engenharia Rural em especial: Tarlei Arriel Botrel, José Antonio Frizzzone, Luiz Antonio Balastreire e Luiz Geraldo Mialhe pelas sugestões oferecidas.

À Técnica Especializada Iza Alves pelas orientações nas análises estatísticas.

Aos pesquisadores Alberto Colombo e Sergio Prates Zaggo do Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CENEA) pelo auxílio na elaboração do "software" de sobreposição dos aspersores.

À minha esposa Cláudia pelo auxílio nos ensaios e apoio carinhoso nas horas mais difíceis desta caminhada.

Aos estagiários e funcionários do Departamento de Engenharia Rural em especial às secretárias Neide Aparecida Monti, Marinês Coral Rizzo e Marinete Maura S. de Mattos pelos serviços de digitação.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	xix
RESUMO	xxiv
SUMMARY	xxvi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Ensaaios de Desempenho de Aspersores	03
2.2. Características Operacionais e a Distribuição de Água de um Aspersor	14
2.3. Produção das Culturas e Uniformidade de Apli- cação de Água	20
3. MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1. Local	25
3.2. Aspersores Ensaaiados	25
3.3. Ensaio de Vazão	26
3.3.1. Material	26
3.3.2. Procedimento de Ensaio	26
3.3.3. Processamento dos Dados Obtidos	28
3.4. Ensaio da Força Tangencial da Mola Acoplada ao Defletor-Martelo	29

3.4.1. Material	29
3.4.2. Procedimento de Ensaio	30
3.4.3. Processamento dos Dados Obtidos	31
3.5. Ensaio do Volume de Água Desviado e do Período de Oscilação do Defletor-Martelo	31
3.5.1. Material	31
3.5.2. Procedimento de Ensaio	34
3.5.3. Processamento dos Dados Obtidos	35
3.6. Ensaio do Ângulo de Deflexão do Defletor-Mar- telo	36
3.6.1. Material	36
3.6.2. Procedimento de Ensaio	37
3.6.3. Processamento dos Dados Obtidos	39
3.7. Ensaio Radial de Distribuição de Água	42
3.7.1. Material e Local de Ensaio	42
3.7.2. Procedimento de Ensaio	46
3.7.3. Processamento dos Dados Obtidos	50
3.8. Simulação da Produtividade das Culturas	52
3.8.1. Material	52
3.8.2. Processamento dos Dados	53
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
4.1. Ensaio de Vazão	55
4.2. Ensaio da Força Tangencial da Mola Acoplada ao Defletor-Martelo	57

4.3. Ensaio do Volume da Água Desviado pela Ação do Defletor-Martelo	60
4.4. Ensaio do Período de Oscilação do Defletor-Martelo	65
4.5. Porcentagem de Energia Absorvida do Volume de Água Desviado pelo Defletor-Martelo	70
4.6. Ensaio da Distribuição Espacial de Água dos Aspersores	74
4.6.1. Volumes Médios de Água Precipitados nos Coletores em Disposição Radial nos Ensaio de Distribuição	74
4.6.2. Processamento dos Volumes de Água Precipitados	75
4.6.3. Fatores Estudados e CUC	89
4.6.4. Fatores Estudados e Porcentagem de Queda na Produção Potencial da Batata ...	96
4.6.5. CUC e Porcentagem de Queda na Produção das Culturas (Batata, Feijão e Trigo) .	101
5. CONCLUSÕES	104
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	107
ANEXO-1	114

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Disposição dos coletores nos ensaios realizados por Christiansen, a esquerda cada coletor representa uma área de $0,929 \text{ m}^2$, enquanto que à direita cada coletor representa uma área de $0,464 \text{ m}^2$	04
Figura 2. Representação esquemática dos coletores ensaiados por MAREK et alii (1985).	07
Figura 3. Representação esquemática do coletor utilizado por FROST (1963).	09
Figura 4. Trajetória balística de uma gota d'água emitida por um aspersor.	17
Figura 5. Disposição dos equipamentos utilizados no ensaio de vazão dos aspersores Dantas MD 20 A.	27

Figura 6. Representação esquemática do material utilizado no ensaio da força tangencial da mola de torção dos aspersores Dantas MD 20 A. ...	30
Figura 7. Representação esquemática de cúpula utilizada no ensaio do volume de água desviado e no período de oscilação do defletor-martelo. ...	33
Figura 8. Visão geral do material utilizado no ensaio do volume de água desviado e no período de oscilação do defletor-martelo.	34
Figura 9. Representação esquemática do ensaio do ângulo de deflexão do defletor-martelo.	38
Figura 10. Vista geral do ensaio do ângulo de deflexão do defletor-martelo.	39
Figura 11. Representação esquemática do material utilizado para controle de rotação dos aspersores Dantas MD 20 A ensaiados.	44
Figura 12. Representação esquemática da cúpula utilizada nos ensaios dos aspersores.	45

Figura 13. Cúpula de madeira utilizada no ensaio radial de distribuição de água dos aspersores Dantas MD 20 A.	45
Figura 14. Disposição dos coletores e instrumentos utilizado no ensaio de distribuição radial da água de um aspersor.	47
Figura 15. Curvas características pressão x vazão dos aspersor Dantas MD 20 A (1 , 2 e 3), com um e com dois bocais.	57
Figura 16. Relação entre ângulo defletido pela mola acoplada ao defletor-martelo e a força tangencial exercida a 6 cm do eixo de torção. .	60
Figura 17. Porcentagem média de água desviada do jato principal dos aspersores ensaiados em relação à tensão de mola, para os três bocais estudados.	63
Figura 18. Porcentagem média de água desviada do jato principal com relação à tensão da mola, para os aspersores ensaiados submetidos às pressões de serviço.	64

Figura 19. Período de oscilação do defletor-martelo com relação à tensão da mola nas seis pressões de serviço, para os três bocais estudados. .	68
Figura 20. Período de oscilação do defletor-martelo com relação à tensão da mola nos três bocais, para as seis pressões de serviço estudadas..	69
Figura 21. Porcentagem de energia absorvida da água desviada pelo defletor-martelo em relação à tensão da mola, nas seis pressões de serviço, para os três bocais estudados.	73
Figura 22. Desvio-padrão dos volumes de água coletados em cada coletor, para os sessenta ensaios de distribuição realizados.	75
Figura 23. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço.	115

Figura 24. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço.	116
Figura 25. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço.	117
Figura 26. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço.	118
Figura 27. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível de tensão da mola, variando-se o tempo de rotação do aspersor.	119

- Figura 28. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível de tensão da mola, variando-se tempo de rotação do aspersor. 120
- Figura 29. Coeficientes de uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível de tensão da mola, variando-se o tempo de rotação do aspersor. 121
- Figura 30. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola. 122
- Figura 31. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola. 123

- Figura 32. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola. 124
- Figura 33. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço. 125
- Figura 34. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço. 126
- Figura 35. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço. 127

- Figura 36. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço. 128
- Figura 37. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível da mola, variando-se o tempo de rotação do aspersor. 129
- Figura 38. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível da mola, variando-se o tempo de rotação do aspersor. 130
- Figura 39. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível da mola, variando-se o tempo de rotação do aspersor. 131

Figura 40. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola.	132
Figura 41. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola.	133
Figura 42. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola.	134
Figura 43. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 6 x 12 m.	135

Figura 44. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 12 x 12 m.	136
Figura 45. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 12 x 15 m.	137
Figura 46. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 12 x 18 m.	138
Figura 47. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 18 x 18 m.	139

Figura 48. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 18 x 24 m.	140
Figura 49. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 24 x 24 m. .	141
Figura 50. Relação entre os valores de CUC e a queda da produção da batata nos sessenta ensaios realizados.	102

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Códigos de identificação dos ensaios de distribuição de água realizados.	51
Tabela 2.	Resultados dos ensaios de vazão dos aspersores Dantas MD 20 A, com um e com dois bocais.	55
Tabela 3.	Áreas dos bocais dos aspersores Dantas MD 20 A.	56
Tabela 4.	Coefficientes da equação vazão x pressão dos aspersores ensaiados.	56
Tabela 5.	Resultados dos ensaios de determinação da força tangencial da mola acoplada ao defletor-martelo a uma distância de 6 cm do eixo de rotação do aspersor.	58
Tabela 6.	Coefficientes da equação linear, característica da deformação da mola dos aspersores Dantas MD 20 A.	59

Tabela 7. Períodos de oscilação do defletor-martelo, determinados em função da pressão de serviço e tensão da mola, em 3 aspersores e 3 bocais.	67
Tabela 8. Deslocamento angular do defletor-martelo submetido a quatro tensões da mola e seis pressões de serviço na combinação dos três aspersores e dos três bocais.	72
Tabela 9. Volume médio de água precipitado nos coletores em disposição radial nos ensaios de distribuição.	77
Tabela 10. Volume médio de água precipitado nos coletores em disposição radial nos ensaios de distribuição.	78
Tabela 11. Volume médio de água precipitado nos coletores em disposição radial nos ensaios de distribuição.	79
Tabela 12. Volume médio de água precipitado nos coletores em disposição radial nos ensaios de distribuição.	80

Tabela 13. Volume médio de água precipitado nos coletores em disposição radial nos ensaios de distribuição.	81
Tabela 14. Volume médio de água precipitado nos coletores em disposição radial nos ensaios de distribuição.	82
Tabela 15. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.	83
Tabela 16. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.	84
Tabela 17. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.	85

Tabela 18. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.	86
Tabela 19. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.	87
Tabela 20. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.	88
Tabela 21. Resultados da análise de variância conjunta para todos os espaçamentos estudados (testes F).	90
Tabela 22. Análise Multifatorial de Variância (Método do Intervalo de Confiança a 95% de Probabilidade), dos Valores Médios de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, dentro de	

cada nível de fator estudado (Pressão, Tempo de Rotação e Tensão da mola).	94
--	----

Tabela 23. Análise Multifatorial de Variância (Método do Intervalo de Confiança a 95% de Probabilidade), dos Valores Médios de Porcentagem de redução na produção da batata, dentro de cada nível de fator estudado (Pressão, Tempo de Rotação e Tensão da mola).	97
---	----

Tabela 24. Porcentagem de queda na produção da batata, para as diversas combinações de pressão, tensão da mola e velocidade de rotação, do aspersor Dantas MD 20 A bocal de 4,4 x 2,5 mm, no espaçamento de 12 x 18 m.	100
--	-----

REGULAGENS DE ASPERSORES E SEUS EFEITOS SOBRE A UNIFORMIDADE
DE APLICAÇÃO DE ÁGUA E PRODUTIVIDADE DAS CULTURAS

Autor: Rubens Duarte Coelho

Orientador: Prof. Dr. Marcos Vinícius Folegatti

RESUMO

O presente trabalho, diz respeito à um estudo realizado em laboratório, com aspersores rotativos do tipo impacto de fabricação nacional, com o objetivo de quantificar a influência da pressão de operação, da velocidade de rotação e do período de oscilação do defletor-martelo na uniformidade de distribuição de água e na produção das culturas, assim como, prover informações básicas para o aprimoramento de modelos matemáticos de trajetória balística, no que diz respeito à energia e ao volume de água desviado pelo defletor-martelo do jato de água proveniente do aspersor.

Nos ensaios de distribuição espacial das lâminas de água, combinaram-se três pressões (20, 30 e 40 mca) com cinco tempos de rotação do aspersor (7 , 15 , 30 ,

60 e 90 segundos) e quatro níveis de tensão da mola do defletor-martelo (0 , 1 , 4 e 8). Com os resultados obtidos de Coeficientes de Uniformidade de Christiansen e queda de produção das culturas para os espaçamentos entre aspersores de 6 x 12, 12 x 12, 12 x 15, 12 x 18, 18 x 18, 18 x 24 e 24 x 24 m , efetuou-se uma análise multifatorial de variância pelo método do intervalo de confiança à 95% de probabilidade. Observou-se que os maiores tempos de rotação do aspersor apresentaram melhores coeficientes de uniformidade nos espaçamentos limites recomendados pelo fabricante, e que o nível 4 de tensão é o limite máximo de deflexão da mola acoplada ao defletor-martelo, sem que ocorra interferência prejudicial à distribuição espacial da água.

Dependendo do período de oscilação do defletor-martelo, do diâmetro do bocal e da pressão de serviço, pode-se ter uma variação entre 4 e 40% do volume de água desviado do jato de água do aspersor pela ação do defletor-martelo, e uma redução de 23 a 55% da energia disponível ao movimento balístico do volume de água interceptado.

SPRINKLER REGULATION AND THE EFFECT ON THE WATER
DISTRIBUTION UNIFORMITY AND CROP YIELDS

Author: Rubens Duarte Coelho

Adviser: Prof. Dr. Marcos Vinicius Folegatti

SUMMARY

The work carried out, concerns an experiment conducted indoors with a rotary irrigation sprinkler made by a Brazilian manufacturer. The objective was to quantify the influence of rotation rate, operating pressure and oscillation period of the impact arm, on the spatial distribution of water and production of some crops, and thus give basic informations for improvement of mathematical models, about ballistic trajectory of drops after the break-up process of the emerging jet from impact drive sprinkler (portion of water affected and the amount of energy captured by the impact arm).

The tests were conducted with the combinations of three factors: operating pressure (0,2 ;

0,3 and 0,4 MPA), time of a complete rotation (7 , 15 , 30 , 60 and 90 seconds) and the adjustment of the level of tension spring coupled to the impact arm (0 , 1 , 4 and 8). With the coefficient of uniformity (Christiansen 1942) and reduction of potato yield for seven sprinkler spacing (6 x 12 , 12 x 12 , 12 x 15 , 18 x 18 , 18 x 24 and 24 x 24 m), was conducted a multiple range analysis by the method of 95 percent confidence intervals.

It was noted, that greater times for a complete rotation, induce better coefficients of uniformity for greater sprinkler spacing recomend by manufacturer and that the adjustment level 4 of tension spring, is the limit for a good distribution of water.

Depending on the oscillation period of the impact arm, nozzle diameter and operating pressure, it's possible to have 4 to 40 percent of emerging water affected by the impact arm and a reduction between 23 and 55 percent of the energy availble to ballistic motion of the portion of water affected.

1. INTRODUÇÃO

A irrigação por aspersão tem contribuído acentuadamente para o aumento da área irrigada no Brasil, melhorando a produtividade das culturas e tornando mais intensiva a exploração das terras disponíveis.

Em todo o território nacional, observa-se um grande número de empresas fabricantes de equipamentos de irrigação; a maioria delas não possui uma área específica de desenvolvimento e aplicação dos produtos, limitando-se à reprodução de equipamentos importados. Devido à pouca tradição em agricultura irrigada no Brasil, muitos técnicos dedicam-se somente ao dimensionamento hidráulico dos projetos, deixando de lado o controle da irrigação e a avaliação periódica do desempenho de sistemas em funcionamento.

Visando contribuir para uma utilização mais eficiente dos equipamentos comercializados, este trabalho tem como objetivo, estudar as influências das regulagens dos aspersores na uniformidade de aplicação de água.

O trabalho encontra-se dividido em duas partes distintas: na primeira parte, estudaram-se em

aspersores rotativos do tipo impacto, os efeitos da velocidade de rotação e do período de oscilação do defletor-martelo, na distribuição espacial da lâmina de água aplicada e a sua influência na produtividade das culturas de batata, feijão e trigo; a segunda parte do trabalho teve como objetivo quantificar a redução da energia do volume de água desviado pela interceptação do defletor-martelo, informação necessária ao aprimoramento de modelos matemáticos de trajetória balística.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Ensaios de desempenho de aspersores

Segundo CHRISTIANSEN (1942), o estudo da uniformidade de aplicação de água propiciada por equipamentos de irrigação por aspersão, teve início com os trabalhos de STAEBNER (1930), o qual avaliou aspersores americanos e alemães de uma maneira descritiva.

As avaliações quantitativas de desempenho de aspersores tiveram início com o célebre trabalho apresentado por CHRISTIANSEN (1942), que ainda hoje é citado devido ao Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC). Este trabalho relata informações obtidas em 170 ensaios diferentes de campo, que tiveram como objetivo avaliar a uniformidade de aplicação de água. Nestes ensaios foram utilizadas duas metodologias; 70% dos ensaios foram realizados de acordo com a metodologia proposta por STAEBNER (1930), que distribuía em forma de grade, coletores a cada $0,929 \text{ m}^2$ (10 sq.ft), os demais 30% dos ensaios foram realizados com coletores a cada $0,464 \text{ m}^2$ (5 sq.ft). Os coletores apresentavam um diâmetro de 0,0635 m. Para melhor quantifi-

car o perfil de distribuição dos aspersores ensaiados, foram alocados dois eixos ortogonais no centro do campo, com coletores espaçados de 1,524m (5 ft). Na Figura 1, estão esquematizados os dois tipos de distribuição dos coletores na área de ensaio.

Figura 1. Disposição dos coletores nos ensaios realizados por Christiansen; a esquerda cada coletor representa uma área de $0,929 \text{ m}^2$, enquanto que à direita cada coletor representa uma área de $0,464 \text{ m}^2$.

HART (1961) menciona a existência de dois tipos básicos de ensaio de distribuição espacial de água à partir de aspersores; o primeiro é um ensaio com vários aspersores operando ao mesmo tempo dentro do espaçamento estudado, as precipitações obtidas nos diversos coletores da área amostrada, são considerados diretamente nos cálculos de algum tipo de coeficiente de uniformidade; o segundo tipo de ensaio é um ensaio de campo com um único apersor, as pre-

leptações obtidas nos coletores são sobrepostas segundo uma lógica matricial, podendo simular diversos espaçamentos entre os aspersores. O ensaio utilizando um só aspersor é mais versátil e econômico.

BRANSCHIED et alii (1968), compararam os resultados dos dois tipos de ensaios descritos em duas situações distintas: a primeira consistia em uma linha lateral com 13 aspersores igualmente espaçados e a segunda em um único aspersor; cada situação era operada independentemente, porém em condições climáticas semelhantes (ensaios realizados simultaneamente). Com os resultados obtidos em ambas as situações, efetuaram-se os cálculos de sobreposições para os espaçamentos desejados, obtendo-se valores próximos de volumes totais coletados, mostrando que o procedimento de justaposição é válido.

GRIFFIN (1978) citado por Chen & Wallender (1984), utilizou-se do perfil de distribuição de água de um único aspersor, obtido com coletores dispostos radialmente, para simular um ensaio de campo. A grade de coletores foi gerada, através da rotação do perfil de distribuição em torno do eixo de rotação do aspersor. Os pontos da grade não correspondentes exatamente à distância real ao longo do ensaio radial, foram interpoladas linearmente. Com a grade obtida com um único aspersor, efetuaram-se as sobreposições correspondentes aos espaçamentos desejados.

Normalmente nos ensaios de avaliação do

desempenho de aspersores, utilizam-se coletores regularmente distribuídos na área abrangida, de tal forma que cada um represente uma mesma porção de área. *A quantidade de coletores que são distribuídos na área do ensaio, devem ser suficientes para a obtenção de um resultado consistente sem contudo prejudicar o aspecto prático e econômico.*

* DAVIS (1966) realizou um estudo aprofundado sobre a densidade de coletores em campo de ensaio, os resultados obtidos demonstraram que para sistemas com uma boa uniformidade de aplicação, *cada coletor não deve representar mais do que 6,7% da área total de ensaio*, em sistemas com baixa uniformidade, cada coletor deve no máximo representar 2,5% da área ensaiada.*

* COLOMBO et alii (1983) efetuando um estudo sobre ensaios de campo com um único apersor, estabeleceu os valores percentuais de 6 , 4 e 3% como sendo a área máxima que cada coletor deve representar em relação à área total, para níveis de CUC ao redor de 70, 40 e 19% respectivamente.

* Segundo a Norma NBR 8989 (1985) da ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS, os coletores devem ser instalados seguindo uma disposição quadrangular e no mínimo 50 coletores deverão receber água durante o ensaio de campo. Com relação ao tempo de ensaio, estabelece que a duração mínima deverá ser de uma hora, sendo que outros períodos poderão ser adotados, desde que sejam suficientes para

proporcionar um volume médio de água nos coletores, equivalentes à uma lâmina de aplicação de 5 mm. χ

MAREK et alii (1985), realizaram um estudo sobre a exatidão de três tipos de coletores utilizados em ensaios de aspersores. Os três coletores encontram-se esquematizados na Figura 2.

Figura 2. Representação esquemática dos coletores ensaiados por MAREK et alii (1985).

O coletor (a) é uma lata de óleo, com as bordas indeformadas, possuindo um diâmetro de 0,103 m e uma profundidade de 0,141 m. O coletor (b) é um funil de separação de vidro, com a área de coleta possuindo um diâmetro de 0,0902 m e uma capacidade máxima de coleta de $500 \times 10^{-6} \text{ m}^3$; antes de cada teste este tipo de funil é preenchido com óleo até o nível máximo (ladrão), com o objetivo de evitar respingos, perda por evaporação e manter

constante a área superficial. O coletor (c) é um funil sobre uma estrutura de coleta apresentando um diâmetro de 0,049 m. Vários ensaios de aspersores foram realizados em diversas condições de ventos, os resultados obtidos indicam que o funil de separação foi o mais exato, porém o seu elevado custo inviabiliza a sua larga utilização à nível de campo. A lata de óleo metálica pode ser utilizada com um grau aceitável de exatidão e com um baixíssimo custo, já o coletor (c), apresentou uma maior variação de lâminas coletadas, isto indicou que sua configuração aerodinâmica em condições de vento pode propiciar uma condição favorável de respingo das gotas tanto para dentro quanto para fora do coletor.

FROST (1963) em um estudo sobre fatores que afetam a evaporação durante a irrigação, utilizou um coletor especial que induziu à pequenas perdas por evaporação (Figura 3); a quantidade de água interceptada pelas paredes internas é desprezível, uma altura de aproximadamente 0,0254 m de óleo foi utilizada para prevenir a evaporação, a altura dos coletores e aspersores acima do solo foi aumentada à medida que a cultura foi crescendo.

Figura 3. Representação esquemática do coletor utilizado por FROST (1963).

Os resultados dos ensaios de uniformidade de aplicação de água à partir de um só aspersor, variam significativamente. Normalmente os coeficientes obtidos são dependentes de determinadas variáveis do sistema, tais como: modelo do aspersor, tamanho e tipo do bocal, pressão de serviço e da velocidade e direção dos ventos.

SOLOMON (1979), pesquisando sobre a variabilidade dos resultados de testes de uniformidade de aspersores, dividiu os fatores que afetam a dispersão dos resultados em duas categorias: a primeira delas envolve imprecisões relacionadas com os volumes de água coletados, pressão de serviço, velocidade e direção do vento; a segunda categoria é mais importante e explica porque dois aspersores idênticos nas mesmas condições de ensaio, apresentam

resultados de CUC diferentes, isto deve-se à pequenas diferenças no bocal ou no mecanismo de rotação que podem afetar significativamente o que acontece com a água ao deixar o aspersor. Após inúmeros ensaios, concluiu-se que para um intervalo de confiança de 95% e admitindo-se uma tolerância no CUC de $80 \pm 5\%$, são necessários 3 ensaios de campo.

Dada a variabilidade inerente aos coeficientes de uniformidade, não é possível identificar pequenas diferenças de performance de um sistema baseado em poucos testes de campo. Ensaios em laboratório (indoor), dispondo radialmente os coletores, têm sido utilizados com o objetivo de reduzir o tempo e o espaço físico necessários na avaliação de um aspersor; este tipo de ensaio permitiu o estudo de modelos de distribuição de água de aspersores (BEAN, 1965) e do efeito de algumas regulagens (BILANSKI & KIDDER, 1958).

FISCHER & WALLENDER (1988), em um estudo sobre os efeitos do tamanho do coletor e do tempo de duração do ensaio nos coeficientes de uniformidade, utilizaram-se de um ensaio em laboratório com um sistema de aquisição de dados automatizado; foram comparados coletores com diâmetros de 0,040, 0,127 e 0,235 m e duração dos testes variando entre 5 e 120 minutos. Nos ensaios realizados com um aspersor rotativo do tipo impacto (bocal de 3,2 mm de diâmetro) e operando a 276 KPa, observaram uma maior variabilidade das precipitações em coletores situados próximos do aspersor e

no final do raio de alcance, levantou-se a hipótese de que o impacto do defletor-martelo desviando água nas proximidades do aspersor, aumentou o coeficiente de variação nestas regiões mencionadas. O coeficiente de variação do volume de água coletado, diminuiu à medida que a duração do teste e o diâmetro dos coletores aumentaram. x

Após a coleta dos volumes precipitados na grade abrangida pelos aspersores é necessário processar os dados obtidos, com a finalidade de obter-se uma interpretação do resultado, que permita a comparação com outros aspersores ensaiados. Os coeficientes da uniformidade de aplicação de água, nada mais são do que o emprego de um procedimento estatístico sobre os valores observados. A princípio estabelece-se que a mensuração de uniformidade é função da variabilidade das precipitações coletadas, embora COGELS (1983) e SEGINER (1979) destacaram que um ajuste dependendo do espaçamento entre as plantas seja necessário.

CHRISTIANSEN (1942) estabeleceu o desvio médio como medida de dispersão. O desvio (DM) é o valor médio das diferenças absolutas entre cada volume coletado e a média geral dos volume coletados (MG). Na forma decimal, o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) é expresso do seguinte modo :

$$CUC = 1 - \frac{DM}{MG} \dots\dots\dots (1)$$

Em 1947, WILCOX & SWAILES utilizaram o desvio padrão (DP) como medida de dispersão e propuseram o coeficiente de Wilcox-Swailes (UWS) expresso do seguinte modo:

$$UWS = 1 - \frac{DP}{MG} \dots\dots\dots (2)$$

HART (1961), propôs o Coeficiente de Hart (UH) expresso pela fórmula:

$$UH = 1 - 0,797 \cdot \frac{DP}{MG} \dots\dots\dots (3)$$

Caso os volumes coletados sigam uma distribuição normal, então o CUC é igual ao UH.

Outro coeficiente de uniformidade de distribuição de água frequentemente utilizado, é o de KRUSE (UD - 1978), expresso pela relação entre a média das 25% menores precipitações (MEP) e média geral (MG).

$$UD = \frac{MEP}{MG} \dots\dots\dots (4)$$

KELER & KARMEELLI (1975) definiram o coeficiente (UD) como a relação de uniformidade de emissão.

HART (1961) propôs uma versão estatística da uniformidade de distribuição (UDH), que é numericamente igual à (UD) sempre que as lâminas de irrigação seguirem um modelo de distribuição normal.

$$UDH = 1 - 1,27 \cdot \frac{DP}{MG} \dots\dots\dots (5)$$

BEALE & HOWELL (1966), apresentaram um coeficiente oposto à (UD) denominado Eficiência Padrão de Beale (EPB), calculado através da relação entre a média das 25% maiores precipitações (MAP) e a média geral das precipitações (MG).

$$EPB = 1 - \frac{MAP}{MG} \dots\dots\dots (6)$$

BENAMI & HORE (1964), propuseram um coeficiente de uniformidade (UBH) que leva em consideração os desvios médios em relação à média das precipitações, acima e abaixo da média geral (MG). Calcula-se este coeficiente, através da relação:

$$UBH = \frac{\frac{MGS - \frac{\sum_{i=1}^{NGS} |XGS - MGS|}{1}}{NGS}}{\frac{MGI - \frac{\sum_{i=1}^{NGI} |XGI - MGI|}{1}}{NGI}} \dots\dots (7)$$

Onde: MGS = média do grupo superior
 MGI = média do grupo inferior
 NGS = número de valores do grupo superior
 NGI = número de valores do grupo inferior
 XGS = precipitações do grupo superior
 XGI = precipitações do grupo inferior

2.2. Características operacionais e a distribuição de água de um aspersor

CHRISTIANSEN (1942), estudou o efeito da baixa pressão, da velocidade do vento e da velocidade de rotação (intensidade e variação) nos modelos de distribuição de água. Com relação ao efeito da alta velocidade de rotação, notou-se uma redução da área abrangida pelo aspersor; esta redução de área incrementou a taxa de aplicação. Quando a velocidade de rotação é elevada, os aspersores devem ser dispostos em um espaçamento menor para assegurar a mesma uniformidade de distribuição. Observaram-se em alguns ensaios, variações acentuadas da velocidade angular dos aspersores durante uma revolução completa, contribuindo para uma maior desuniformidade, pois o aspersor fica posicionado durante tempos diferentes em setores de mesma área.

BILANSKI & KIDDER (1958) desenvolveram um trabalho célebre sobre os fatores que afetam a distribuição de água a partir de um aspersor rotativo do tipo impacto. O estudo foi conduzido em condições de laboratório para eliminar variáveis climáticas. Somente aspersores de porte médio adaptaram-se ao estudo em laboratório. A duração do teste foi de 60 minutos, sendo os coletores dispostos radialmente e espaçados de 0,609 m (2ft). Dois dos fatores estudados foram o defletor-martelo e a velocidade de rotação

dos aspersores; com relação ao primeiro fator, observaram uma diminuição da quantidade de água precipitada no ponto de máxima acumulação; com relação ao segundo fator, pesquisando o intervalo de tempo de uma rotação do aspersor compreendido entre 350 e 3 segundos, observaram uma redução de alcance máximo do jato de 13,12 m para 9,25 m. A análise das velocidades envolvidas, demonstrou que a diminuição da trajetória não pode ser contabilizada somente pela componente de velocidade devido à rotação do aspersor. A distância percorrida por uma gota é função da resistência do ar, que por sua vez é função da área superficial da gota, a resistência é mínima quando o aspersor está estacionado; em rotações elevadas, tão logo as gotas de água saem pelo bocal do aspersor, sofrem o efeito da resistência do ar.

A distribuição da frequência dos diâmetros das gotas formadas à partir de um aspersor é útil para a quantificação da evaporação, deriva e selamento superficial dos solos (BERNUTH & GILLEY, 1984). Em um aspersor do tipo impacto, a pressurização do jato e a ação do defletor-martelo influenciam a formação de gotas. O defletor-martelo absorve energia da água desviada e faz um movimento repentino do jato (KOHL 1974).

A maneira pela qual um jato de água quebra-se formando gotas discretas não é claramente entendida; sabe-se que é função do número de Reynolds e do número de Weber. LEVINE (1952) mostrou que o tamanho de gotas aumenta

linearmente com o diâmetro do bocal utilizado. SEGINER (1965) observou existir uma relação entre o diâmetro das gotas formadas e a trajetória percorrida em relação ao aspersor.

Conhecendo-se a velocidade de saída da gota à partir de um bocal, o ângulo de saída com a horizontal, a altura do aspersor em relação ao solo, a resistência do ar e a aceleração da gravidade, é possível estimar a que distância do aspersor que a gota tocará o solo.

BILANSKI & KIDDER (1958), desenvolveram um modelo de trajetória balística de uma gota no ar (Figura 4) através da seguinte equação diferencial:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} = - R \cdot \cos \theta \quad \dots\dots\dots (8)$$

Onde:

R = Resistência do ar

m = Massa da gota

x = Distância horizontal

t = Tempo de voo da gota

θ = ângulo em relação à horizontal.

Figura 4. Trajetória balística de uma gota d'água emitida por um aspersor.

A resistência do ar segundo SEGNER (1965) é melhor expressa quando o expoente da velocidade aproxima-se do valor dois, conforme a equação (9).

$$R = C \cdot V^2 \dots\dots\dots (9)$$

SOARES (1986) apresentou a aplicação da equação (9) nas três dimensões de uma representação espacial, incluindo a velocidade e direção predominante do vento. A terceira dimensão permite considerar a velocidade de rotação de um aspersor, o que descreve fisicamente o fenômeno de um modo mais preciso. As equações são:

$$\frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = C2 \cdot V (Vx \pm Wx) \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = C2 \cdot V (Vy \pm Wy) \dots\dots\dots (11)$$

$$\frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = C2 \cdot V (Vz \pm Wz) + g \dots\dots\dots (12)$$

Onde:

V_x, V_y e V_z = Velocidades da gota d'água
nas direções x, y e z.

W_x, W_y e W_z = Velocidades do vento nas
direções x, y e z.

g = Aceleração da gravidade.

C_2 = Coeficiente de arrasto aerodinâmico.

AZEVEDO NETO (1973), comenta que a velocidade da água ao sair de um bocal, pode ser expressa pela equação (13).

$$V = C_v (2gh)^{1/2} \dots\dots\dots (13)$$

Onde:

V = velocidade inicial

C_v = Coeficiente de velocidade

h = Pressão de trabalho

g = Aceleração da gravidade.

Aplicando este raciocínio sobre diâmetros de gotas e modelos de trajetória balística, BERNUTH & GILLEY (1984) apresentam uma aplicação do perfil de distribuição de um aspersor, na determinação da distribuição de frequência de diâmetros de gotas. Inicialmente, efetua-se uma simulação teórica da trajetória balística descrita por gotas de diversos diâmetros, levando-se em consideração a pressão de trabalho, o coeficiente de descarga do bocal, a altura do

aspersor e o ângulo de saída do jato. Dividindo-se o perfil de distribuição de um aspersor em vários segmentos e considerando que dentro de cada um depositou-se um conjunto de gotas de mesmo diâmetro, é possível calcular o número de gotas que apresentam um determinado diâmetro; aplicando esta metodologia sobre todo o perfil de distribuição, obtem-se a frequência de distribuição do diâmetro de gotas formadas. Neste modelo apresentado, considera-se que o jato do aspersor não sofre nenhum tipo de perturbação do defletor-martelo, que segundo os autores na realidade desvia parte da água, absorvendo inclusive uma fração de energia da mesma. Para aplicar o modelo com maior precisão, é necessário considerar o efeito do defletor-martelo.

Segundo BERNUTH & GILLEY (1984), existe pouca informação na literatura quantificando a fração de água desviada e a energia absorvida. Engenheiros das indústrias fabricantes, supõem que para aspersores de tamanho médio, 15% da vazão total é desviada e que 50% da energia de velocidade é absorvida pelo defletor-martelo. Os autores citam duas fontes na literatura: KOHL (1974) menciona que 51% da energia é capturada e BEAN (1965) diz que, em condições de operação, 13,2% da vazão é desviada pelo defletor martelo, sendo que este valor pode variar entre 40 e 50% caso a frequência de interrupção do jato seja muito elevada. Um outro aspecto abordado é que a formação de gotas à partir do jato, não ocorre à uma distância fixa mas à uma distância

indeterminada. Gotas formadas próximas à superfície do jato estão sujeitas a uma velocidade relativamente menor do que a média, gotas grandes e instáveis estão sujeitas à se quebrarem durante o movimento afetando a exatidão do modelo.

2.3. Produção das culturas e uniformidade de aplicação de água.

Durante o desenvolvimento das plantas, vários fatores influenciam na produção final. Um dos fatores envolvidos é a disponibilidade de água no solo, em áreas irrigadas a uniformidade do solo e da irrigação dominam este fator (WARRICK & GARDNER - 1983). A operação de campo de um sistema de irrigação, tem como objetivo modificar a umidade do solo, tornando-o mais favorável ao crescimento da planta e conseqüentemente à produção.

A seleção de um sistema de irrigação e o controle da irrigação visando maximizar a rentabilidade das culturas, são tarefas difíceis e em muitas ocasiões feitas por intuição. A seleção do aspersor, espaçamento e lay-out do sistema, devem ser associados com o custo dos equipamentos e o incremento de produção, objetivando irrigações econômicas e de elevada uniformidade. *Sistemas de aspersão com espaçamentos reduzidos, geralmente aplicam água mais uniforme proporcionando maiores produções, embora os custos sejam maiores.*

Qualquer sistema de irrigação, aplica em algumas regiões maiores ou menores lâminas do que a média em toda a área. HART e REYNOLDS (1965) demonstraram isto para sistemas de aspersão, utilizando um modelo de distribuição normal. Esta função de distribuição da lâmina de água aplicada juntamente com funções de produção versus lâmina de água aplicada, estimam a produção de uma área dependendo da uniformidade (RAO et alii, 1988). As funções de produção são úteis como um mecanismo de ligação entre os aspectos agrônômico das culturas e a operação dos sistemas de irrigação. Na região sudeste do Brasil, destacam-se algumas funções de produção já obtidas em trabalhos de pesquisa.

FARIA (1981), em um estudo sobre a cultura do trigo, obteve a seguinte função em relação a lâmina de água total aplicada em mm (x).

$$\text{Trigo (kg/ha)} = -1333,89 + 45,05 x - 0,12 x^2 \quad \dots\dots\dots (14)$$

FRIZZONE (1986), estudando a cultura do feijão, obteve a equação:

$$\text{Feijão (kg/ha)} = -624,123 + 10,187 x - 0,00849 x^2 \quad \dots\dots (15)$$

DUARTE (1989), pesquisando a cultura da batata, obteve a equação:

$$\text{Batata (ton/ha)} = -28,31978 + 0,1818 x - 0,00014517 x^2 \dots (16)$$

HILL & KELLER (1980) em um trabalho sobre a seleção de sistemas de irrigação visando atingir a máxima rentabilidade, utilizaram a metodologia comentada anteriormente. Para uma dada função de distribuição de lâmina de água aplicada associada à uma função de produção, comentam que a produção total pode ser estimada pela equação:

$$Y = (A/100) \cdot \sum_{i=1}^m P_i \cdot y(d_i) \dots\dots\dots(17)$$

Y = Produção total, unidades

A = Área total

m = Número total de incrementos de área

d_i = Altura de lâmina aplicada na área i

y = Função de produção em relação à lâmina total aplicada

P_i = Porcentagem de área que recebeu a altura de lâmina considerada.

Uma crítica a esta metodologia, é o fato de não considerar a redistribuição da água no solo. Estudos realizados por HART (1972) e PAIVA (1980) chegaram à conclusão de que existe uma redistribuição horizontal superficial da água aplicada ao solo, de tal maneira que ocorre um sensível acréscimo da uniformidade de umidade do solo.

PERRENS (1984), conduzindo pesquisas neste

sentido, conclui que a intensidade de redistribuição da água no solo depende da textura; em seu trabalho, avaliou a uniformidade de umidade a 50 cm de profundidade, durante o processo de infiltração da água no solo, a uniformidade aumentou de 60% para 67% em um solo de textura arenosa e de 60% para 73% em um solo do tipo areno-siltoso.

Por outro lado, SINAI & ZALASUSKY (1977) citados por Solomon (1984), demonstraram que devido à anisotropia do solo e das condições superficiais, uma aplicação uniforme de água pode não corresponder à mesma uniformidade quando analisa-se a umidade do solo.

SOLOMON (1984), comenta que os coeficientes de uniformidade e eficiência de aplicação de água, são utilizados somente como índices de performance não apresentando um significado físico de aplicação direta, embora SEGNER (1978) tenha mostrado claramente que a uniformidade de irrigação influencia a produção das culturas. Em seu trabalho são apresentadas situações especiais em que estes coeficientes de uniformidade podem ser empregados na previsão de produção das culturas. Quando uma cultura apresenta uma função de produção versus lâmina total aplicada do tipo da equação (18), o coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN, pode ser interpretado como o limite inferior da produção relativa esperada.

$$Y(w) = 1 - |w - 1| \dots\dots\dots (18)$$

w = Lâmina de água relativa total aplicada

Y = Produção relativa

CHEN & WALLENDER (1984) desenvolveram uma função de custo de equipamento de irrigação, considerando como variáveis o espaçamento entre aspersores, a uniformidade de aplicação de água e a produção das culturas. Estudaram-se os custos do equipamento de irrigação por aspersão, na condição de sistema fixo e na condição de sistema portátil com seis mudanças de uma linha lateral em relação à vários CUC . Em uma simulação sobre a cultura do algodão, para o sistema fixo, o CUC de 67% foi o mais econômico, já para o sistema portátil com seis mudanças da linha lateral, o mais econômico foi o CUC de 89%.

SEGINER (1978), em um trabalho sobre o significado econômico da uniformidade de aplicação de água, definiu a produção de uma cultura em termos da seguinte integral.

$$Y = \int_0^{\infty} y \{w\} \cdot f \{w\} \cdot dw \dots\dots\dots (19)$$

Y = Produção média

y {w} = Função de produção (fator água)

f {w} = Função de distribuição zazonal de
água.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

Para a realização dos ensaios, foram utilizados dois locais distintos, dentro das dependências do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - USP, Piracicaba, SP, cujas coordenadas geográficas são: $20^{\circ} 42' 30''$ de latitude sul e $47^{\circ} 38' 00''$ de longitude oeste, a 580 m de altitude. Os ensaios de distribuição de água foram realizados no laboratório de máquinas agrícolas devido às suas dimensões favoráveis, enquanto que os demais ensaios ocorreram no laboratório de hidráulica.

3.2. Aspersores Ensaiaados

Foram ensaiados três aspersores Dantas modelo MD 20 A com os seguintes diâmetros nominais de bocais:

Aspersor Nº 1 = 3,1 x 2,5 mm

Aspersor Nº 2 = 4,4 x 2,5 mm

Aspersor Nº 3 = 6,2 x 2,5 mm

3.3. Ensaio de Vazão

O objetivo deste ensaio foi determinar a vazão e o coeficiente de descarga dos bocais dos aspersores. Cada aspersor foi submetido à dois ensaios, o primeiro somente com o bocal principal e o segundo com os bocais principal e secundário.

3.3.1. Material

- a) Medidor magnético indutivo de vazão, precisão de 1%;
- b) Transdutor de pressão, precisão de 0,5%;
- c) Campânula de fibra de vidro com diâmetro de 1 m e altura de 0,5 m;
- d) Conjunto moto-bomba;
- e) Paquímetro e planímetro de precisão.

Na figura (5), encontram-se esquematizados a disposição dos equipamentos utilizados no ensaio de vazão dos aspersores Dantas MD 20 A.

3.3.2. Procedimento de Ensaio

- Acionou-se do conjunto moto-bomba com o registro rápido fechado;
- Zerou-se os equipamentos de medida de vazão ins-

tantânea e pressão de serviço;

- Abriu-se o registro até obtenção das pressões estabilizadas de 20, 25, 30, 35, 40 e 45 mca;
- Anotou-se simultaneamente em planilha, a leitura dos instrumentos.

1. Moto-bomba
2. Medidor de vazão magnético indutivo
3. Registro rápido
4. Transdutor de pressão
5. Aspersor ensaiado
6. Campânula de fibra de vidro
7. Tubo de descarga da campânula
8. Válvula reguladora de pressão

Figura 5. Disposição dos equipamentos utilizados no ensaio de vazão dos aspersores Dantas MD 20 A.

3.3.3. Processamento dos Dados Obtidos

Determinação do coeficiente de descarga (cd) do bocal do aspersor pela equação:

$$Cd = Q / (S \cdot \sqrt{2gh}) \dots\dots\dots(20)$$

Cd = Coeficiente de descarga

Q = Vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$)

S = Area (m^2)

g = Aceleração da gravidade ($m \cdot s^{-2}$)

h = Pressão no bocal (mca)

Com o coeficiente de descarga, foi possível obter a equação da vazão de cada aspersor de acordo com a equação:

$$Q = K \cdot h^{1/2} \dots\dots\dots(21)$$

Q = Vazão ($m^3 \cdot s^{-1}$)

K = Coeficiente

h = Pressão no bocal (mca)

A pressão (h) e a vazão (Q) foram obtidos através da leitura dos instrumentos. A aceleração da gravidade (g) fixada em $9,81 m \cdot s^{-2}$. As áreas dos bocais foram medidas diretamente em cada aspersor; a área do bocal secundário de forma elipsóide, foi estimada com o emprego de um aparelho utilizado em Engenharia Mecânica que

projetou em papel vegetal a área do bocal ampliada, a qual foi medida com o emprego de um planímetro, levando-se em consideração a escala de ampliação.

Foram realizados dois ensaios distintos: o primeiro com o aspersor operando com os dois bocais (principal e secundário) e o segundo como aspersor operando somente com o bocal principal; foi necessário a realização deste último ensaio, pois o defletor-martelo interfere somente no jato de água, proveniente do bocal principal.

3.4. Ensaio da Força Tangencial da Mola Acoplada ao Defletor-Martelo

O objetivo deste ensaio foi determinar a equação característica da mola de torção dos aspersores.

3.4.1. Material

- a) Balança digital com capacidade de 500 g e precisão de 0,1%;
- b) Bancada específica para posicionamento do aspersor.

Na figura (6), observa-se o esquema dos instrumentos e material utilizados no ensaio da força tangencial da mola de torção dos aspersores.

1. Suporte metálico de apoio
2. Rolamento
3. Transferidor 360°
4. Ponto de referência
5. Mola de torção do aspersor
6. Balança digital
7. Eixo rígido de suporte do aspersor
8. Manivela

Figura 6. Representação esquemática do material utilizado no ensaio da força tangencial da mola de torção dos aspersores Dantas MD 20 A.

3.4.2. Procedimento de Ensaio.

- Com a pressão da mola totalmente cedida, encostou-se sobre o elemento sensor da balança, o ponto do defletor martelo aonde o jato d'água toca o mesmo (distância

de 0,06 m do eixo de rotação);

- Zerou-se a balança com o defletor-martelo na posição inicial (mola sem tensão);

- Acionou-se a manivela no sentido de torção da mola em intervalos de 20°;

- A cada intervalo de 20°, anotou-se o ângulo defletido pela mola e a carga indicada pela balança.

3.4.3. Processamento dos Resultados Obtidos.

Ajustou-se uma equação linear que representa a atuação de uma mola de torção em seu intervalo de deflexão (22).

$$F_t = K \cdot A + b \dots\dots\dots(22)$$

F_t = Força tangencial

K = Constante da mola

A = Ângulo defletido

b = Coeficiente de ajuste

3.5. Ensaio do Volume de Água Desviado e do Período de Oscilação do Defletor-Martelo.

3.5.1. Material

a) Cúpula de madeira nas dimensões de: 0,38 m de altura x 0,30 m de largura x 0,30 m de

comprimento. Esta cúpula possuía adaptações especiais que possibilitou a coleta somente da água desviada pelo defletor martelo, que foi conduzida para um recipiente volumétrico graduado, (figuras 7 e 8);

- b) Moto-Bomba;
- c) Transdutor de pressão, válvula reguladora de pressão;
- d) Proveta graduada;
- e) Cronômetro digital;
- f) Sistema de bloqueio de rotação do aspersor;
- g) Contador do número de impactos do defletor martelo no batente do aspersor. Toda vez que o defletor-martelo tocava o batente, gerava um impulso elétrico que era registrado em um contador.

1. Água pressurizada proveniente da moto-bomba
2. Jato de água do bocal secundário
3. Jato de água do bocal principal
4. Água interceptada pelo defletor martelo
5. Sistema de bloqueio da rotação do aspersor
6. Sensor do contador do número de batidas do defletor-martelo.

Figura 7. Representação esquemática da cúpula utilizada no ensaio do volume de água desviado e no período de oscilação do defletor-martelo.

Figura 8. Visão geral do material utilizado no ensaio do volume de água desviado e no período de oscilação do defletor martelo.

3.5.2. Procedimento de Ensaio.

OBS 1 - Por convenção, adotou-se como tensão 1, a menor tensão da mola que permite com que o defletor-martelo trabalhe em condições normais, as demais tensões foram provocadas por deflexões de 60° (intervalo mínimo de regulagem), tendo-se as seguintes tensões:
tensão 1 - 60° , tensão 2 - 120° , tensão 3 - 180° , etc;

OBS 2 - tensão - 0, defletor-martelo posicionado fora da ação do jato de água;

OBS 3 - Em um ensaio preliminar realizado, verificou-se que as tensões 1, 2, 4 e 8 apresentaram os mesmos decréscimos no período de oscilação do defletor-martelo, permitindo obter um ensaio representativo.

- Ensaios dos aspersores nas pressões de 20, 25, 30, 35, 40 e 45 mca e nas tensões da mola 1, 2, 4 e 8;
- Após estabilizada a pressão e a vazão de água desviada pelo defletor-martelo, cronometraram-se os tempos para o enchimento de um volume padrão (proveta) e para o defletor-martelo gerar 50 pulsos (bater 50 vezes no batente do aspersor).

3.5.3. Processamento dos Dados Obtidos

Os resultados foram interpretados da seguinte maneira:

- Período de oscilação do defletor-martelo (PO).

$$PO = \frac{\text{Tempo para gerar 50 impulsos}}{50} \dots\dots (23)$$

- Porcentagem de água desviada do jato do bocal principal (ADJP).

$$ADJP = \frac{\text{Vazão desviada pelo defletor-martelo}}{\text{Vazão total do bocal principal}} \dots (24)$$

3.6. Ensaio do Ângulo de Deflexão do Defletor-Martelo

O objetivo deste ensaio, foi quantificar a energia absorvida pelo defletor-martelo à partir da água desviada pelo mesmo.

3.6.1. Material

- a) Cúpula de madeira com eixo cardã adaptado à um transferidor e a um elemento sensor tocante ao defletor-martelo no ponto de máxima deflexão da mola;
- b) Moto-bomba;
- c) Registro e válvula reguladora de pressão;
- d) Transdutor de pressão;
- e) Motor elétrico de 12 volts acoplado à uma fonte reguladora de voltagem 0 - 12 volts.

Nas figuras 9 e 10, tem-se a representação esquemática e a vista do elemento sensor da deflexão máxima do defletor-martelo respectivamente.

3.6.2. Procedimento de Ensaio

- Com o auxílio do motor elétrico (12 volts), posicionou-se o elemento sensor o mais distante possível do defletor-martelo;
- Acionou-se o conjunto moto-bomba, fazendo com que o aspersor entrasse em funcionamento, inicialmente na maior pressão ensaiada.
- Com auxílio do motor elétrico (12 volts), aproximou-se lentamente o elemento sensor em direção ao limite extremo de deflexão do defletor-martelo até que ocorresse um pequeno impacto, neste ponto, anotava-se em planilha o ângulo indicado no ponto de referência.
- Ensaiou-se as pressões de 45, 40, 35, 30, 25 e 20 mca, registrando-se os ângulos correspondentes às deflexões;
- Terminado o ensaio na menor pressão, fechou-se totalmente o registro e obteve-se o ângulo inicial do defletor-martelo.

1. Ponto de referência
2. Transferidor sobre polia
3. Rolamento
4. Mini eixo cardã com elemento sensor
5. Mini eixo cardã
6. Elemento sensor da deflexão do defletor-martelo
7. Motor elétrico (12 volts)
8. Correia de acoplamento motor/polia
9. Bloqueio de rotação do aspersor

Figura 9. Representação esquemática do ensaio do ângulo de deflexão do defletor-martelo.

Figura 10. Vista geral do ensaio do ângulo de deflexão do defletor-martelo.

3.6.3. Processamento dos Dados Obtidos

O aspersor MD 20 A possui no defletor-martelo, uma peça triangular oscilante que contacta o jato d'água proveniente do bocal principal; esta peça oscilante, pode assumir duas posições distintas: a primeira posição favorece a entrada do defletor-martelo no jato de água e a segunda posição induz o defletor-martelo à sair do mesmo, a transição entre uma e outra posição é efetuada através da energia do próprio jato de água.

Observa-se nos aspersores Dantas MD 20 A, que

uma parte da energia da água interceptada pelo defletor-martelo, é utilizada para aumentar a intensidade da batida do defletor-martelo no batente do aspersor, a outra parte é utilizada para a deflexão do conjunto mola/defletor-martelo. Não levou-se em consideração o atrito existente no mecanismo e nem o coeficiente de elasticidade do choque do defletor-martelo com o batente, considerou-se um choque inelástico (batente com amortecedor).

Através da deflexão total da mola, é possível calcular a energia gasta para a realização deste movimento, porém como mencionado anteriormente, esta é apenas uma parte da energia capturada; a mensuração da outra parte seria um pouco mais complicada e exigiria a aquisição de equipamentos mais sofisticados, sendo assim, considerou-se nos cálculos, que a energia total absorvida pelo defletor-martelo é duas vezes a energia gasta na deflexão do mesmo.

Determinando-se o trabalho realizado através do produto entre uma força e o deslocamento induzido em um movimento circular (25), pode-se estimar a energia absorvida pelo defletor-martelo à partir da água desviada.

$$T = \frac{F \cdot 2 \pi \cdot r \cdot \alpha}{360} \dots\dots\dots (25)$$

Onde: T = Trabalho

F = Força média

r = Raio de giro

α = Ângulo defletido

O ensaio do coeficiente de elasticidade da mola de torção do aspersor, fornece a força tangencial exercida pelo conjunto mola/defletor-martelo, à uma distância equivalente ao ponto de contato do jato d'água com o defletor-martelo (ponto de transferência de energia).

Entre a posição inicial da mola (defletor-martelo encostado no batente do aspersor) e a posição final (máxima deflexão do defletor-martelo), ocorre uma variação linear entre a força tangencial e o deslocamento do defletor-martelo, para simplificação dos cálculos, considerou-se o produto entre a força média destas duas situações e o arco descrito como sendo a energia parcial capturada (EPC) pelo defletor-martelo (26).

$$EPC = \left(\frac{FTI + FTF}{2} \right) \cdot AD \dots\dots\dots (26)$$

Onde: EPC = Energia parcial capturada

FTI = Força tangencial inicial

FTF = Força tangencial final

AD = Arco descrito

A energia total capturada (ETC) foi considerada como sendo o dobro da EPC (27).

$$ETC = 2 \times EPC \dots\dots\dots (27)$$

A relação entre a Energia Total Capturada (ETC) e a energia disponível (ED) no bocal do aspersor, obtida pelo teorema de Bernoulli (28), resultará a porcentagem de energia capturada (PECD) pelo defletor-martelo (29).

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma_1} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma_2} + Z_2 \dots (28)$$

$$PECD = \frac{ETC}{ED} \times 100 \dots \dots \dots (29)$$

3.7. Ensaio Radial de Distribuição de Água

O objetivo deste ensaio foi avaliar o efeito da velocidade de rotação e da tensão da mola na distribuição espacial da lâmina de água aplicada.

3.7.1. Material e Local de Ensaio

- a) Área plana com dimensões de 20 x 5 m, piso de concreto, ambiente isolado da ação de ventos e pé direito de 6 m;
- b) Conjunto moto-bomba, sistema auxiliar de abastecimento de água;
- c) Motor elétrico (12 volts) acoplado à fonte regulável de tensão 0 - 12 volts, voltímetro e amperímetro;
- d) Polia, mini-eixo cardã com acoplamento no

- corpo do aspersor;
- e) Cúpula de madeira nas dimensões: 0,30 m de largura, 0,30 m de comprimento e 0,38 m de altura, com abertura para saída do jato d'água do aspersor na dimensão de 6 cm de largura x 25 cm de altura, direcionador de fluxo e anteparo interno de dissipação de energia;
 - f) Cronômetro, totalizador de rotação, transdutor de pressão;
 - g) Coletores de alumínio com diâmetro de 0,1066 m e altura de 0,12 m, posicionados à uma altura de 0,55 m entre o do bocal do aspersor e a superfície de coleta;
 - h) Balança digital, com capacidade de 500g e precisão de 0,1%.

Na figura (11) é apresentado com detalhe, o sistema de controle da rotação do aspersor através da fonte regulável de voltagem.

Na figura (12), encontra-se esquematizada a cúpula de madeira.

Na figura (13) pode-se observar a cúpula utilizada no ensaio radial de distribuição de água dos aspersores, em funcionamento.

1. Fonte regulável de voltagem 0 - 12 volts
2. Voltímetro
3. Amperímetro
4. Motor elétrico 12 volts
5. Correia de transmissão
6. Polia
7. Rolamento
8. Mini-eixo cardã
9. Acoplamento cardã-aspersor
10. Totalizador de rotação

Figura 11. Representação esquemática do material utilizado para controle de rotação dos aspersores Dantas MD 20 A ensaiados.

1. Direcionador de fluxo
2. Anteparo para dissipação de energia

Figura 12. Representação esquemática da cúpula utilizada nos ensaios dos aspersores.

Figura 13. Cúpula de madeira utilizada no ensaio radial de distribuição de água dos aspersores Dantas MD 20 A.

Os coletores utilizados nos ensaios, foram colocados em duas linhas radiais justapostas, com comprimento total de 18m; espaçados de 0,5m entre si, sendo o primeiro coletor posicionado a 0,25 m do aspersor.

O defletor-martelo quando interrompe o jato d'água, faz com que a água desviada tenha sua trajetória deslocada de aproximadamente 25°, sendo assim praticamente toda água desviada pelo defletor-martelo precipitava fora dos coletores radiais justapostos; portanto, houve a necessidade de se alocar uma linha radial secundária de coletores formando um ângulo de 25° com a linha principal de coletores, com o objetivo de avaliar-se o efeito do defletor-martelo na distribuição dos volumes precipitados.

Na figura 14, observa-se a disposição dos coletores e instrumentos utilizados no ensaio de distribuição radial da água de um aspersor.

3.7.2. Procedimento de Ensaio

Nos aspersores rotativos do tipo impacto, três fatores determinam a velocidade de rotação do aspersor: o período de oscilação do defletor-martelo, a força de atrito existente no mancal do aspersor e a intensidade do choque entre o defletor-martelo e o batente do aspersor.

1. Coletores
2. Aspersor e cúpula
3. Moto-bomba
4. Sistema auxiliar
de abastecimento de
de água
5. Fonte regulável de
voltagem
6. Balança digital
7. Transdutor de pres-
são

Figura 14. Disposição dos coletores e instrumentos utilizado no ensaio de distribuição radial da água de um aspersor.

A intensidade de batida é função de uma série de variáveis: a energia cinética do defletor-martelo, o impulso recebido no momento de entrada do jato d'água, a posição exata do batente do aspersor, o coeficiente de elasticidade do choque, etc., por outro lado o período de oscilação do defletor-martelo, está diretamente relacionado com a tensão da mola.

Devido à complexidade dos fatores mencionados, um operador de equipamentos de irrigação poderá enfrentar situações diversas à nível de campo entre as quais destacam-se duas: a primeira situação, é aquela em que o aspersor opera com uma velocidade de rotação muito baixa chegando até a parar, e o operador tenta resolver este problema diminuindo o período de oscilação do defletor-martelo, através da regulagem da tensão da mola. Esta situação é decorrente de um atrito excessivo no mancal (presença de agentes abrasivos, partículas de solo ou oxidações do material) ou de uma pequena intensidade de choque do defletor-martelo com o batente do aspersor. A segunda situação, é aquela em que o aspersor trabalha com uma rotação muito elevada, embora o operador já tenha regulado a mola na mínima tensão possível, esta situação pode ser constatada em aspersores desgastados pelo uso ou que apresentem uma grande intensidade de batida do defletor-martelo no batente do aspersor.

Como não foi objetivo deste estudo, quantificar a intensidade de batida do defletor-martelo e nem a

influência de agentes abrasivos ou desgaste mecânico na velocidade de rotação do aspersor, foi necessário exercer um controle sobre estes fatores. No total realizaram-se 60 ensaios de distribuição de água combinando-se as pressões de 20, 30 e 40 mca, tempo de rotação do aspersor 7, 15, 30, 60 e 90 segundos e tensão da mola 0, 1, 4 e 8. Considerou-se cada linha de coletores radiais como sendo uma repetição, totalizando duas repetições por ensaio, número este adequado uma vez que as principais variáveis que influenciam os resultados dos ensaios de distribuição de água estavam sob controle.

Neste ensaio, avaliou-se somente o aspersor No. 2 de bocal intermediário; a perfeita combinação dos fatores estudados só foi possível com o auxílio do motor elétrico de 12 volts, que através do mini-eixo cardã induzia uma maior rotação ao aspersor ou atuava como um sistema de frenagem, permitindo assim abranger todas as combinações desejadas dos fatores.

Adotou-se a tensão 0, como sendo um ensaio em que o defletor-martelo não oscilava, sendo o movimento de rotação induzido unicamente pelo motor elétrico. Este ensaio foi considerado como sendo o padrão de distribuição de água sem a influência do defletor-martelo.

O procedimento de ensaio foi:

- Regulagem da tensão da mola no ponto desejado;

- Acionamento do conjunto moto-bomba, mantendo-se fechado os registros;
- Fechamento da janela de saída do jato d'água da cúpula de ensaio;
- Abertura dos registros e estabilização da pressão de ensaio;
- Indução de rotação controlada do aspersor, através do acionamento do mini-eixo cardã acoplado ao aspersor, através do motor elétrico (12 volts) acionado pela fonte regulável de voltagem;
- Abertura da janela de saída do jato d'água da cúpula de ensaio e acionamento simultâneo do cronômetro;
- Duração do ensaio - 3.600 segundos;
- Mensuração dos volumes coletados, indiretamente através de pesagem em balança digital.

3.7.3. Processamento dos Dados Obtidos

Cada ensaio foi identificado por um código composto de três dígitos, o primeiro dígito refere-se à pressão de ensaio, o segundo dígito ao tempo de uma rotação do aspersor e o terceiro dígito à tensão da mola do defletor-martelo, tabela 1.

Tabela (1). Códigos de identificação dos ensaios de distribuição de água realizados.

	CODIGO	SIGNIFICADO
Primeiro Dígito (Pressão)	1	20 mca
	2	30 mca
	3	40 mca
Segundo Dígito (Tempo de 1 rotação)	1	7 seg
	2	15 seg
	3	30 seg
	4	60 seg
	5	90 seg
Terceiro Dígito (Tensão da mola)	1	Posição 0
	2	Posição 1
	3	Posição 4
	4	Posição 8

Com os dados do peso correspondente à massa de água precipitada nos coletores e do peso específico da água (1g/cm^3), estimou-se a altura de água precipitada em cada coletor, levando-se em consideração a área de captação.

Após alguns ensaios preliminares, observou-se que nos ensaios com tensão do defletor-martelo, igual a zero os coletores iniciais da disposição radial secundária, nos quais nada deveria precipitar, apresentavam ligeiras precipitações devido à proximidade dos mesmos com relação às duas disposições radiais principais. Tomou-se o cuidado nos cálculos, de sempre descontar estas precipitações em excesso com a finalidade de obter-se maior exatidão nos resultados.

Somando-se o volume médio das duas disposições radiais principais com o volume coletado na disposição radial secundária, obteve-se o perfil de distribuição do

aspersor. Para um alcance em torno de 16 m, obtinha-se aproximadamente 32 pontos para a representação do perfil de distribuição do aspersor.

Para a realização do processamento de dados, foi necessário o desenvolvimento de um "Software", que permitiu o processamento rápido e eficiente dos dados existentes.

Fazendo-se uma revolução completa com o perfil de distribuição coletado no ensaio, simulou-se no computador uma grade composta de quadriculas de 0,5 x 0,5m, considerando-se o aspersor localizado no centro da quadricula central, obtendo-se uma matriz de 64 x 64 elementos (4.100 coletores simulados). Os coletores simulados que caíam em posições não coincidentes com a do perfil coletado, tinham sua precipitação estimada através de interpolação linear.

De posse da grade simulada, pode-se calcular o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, o desvio padrão e o coeficiente de variação das grades sobrepostas nos espaçamentos retangulares de: 6x12, 12x12, 12x15, 12x18, 18x18, 18x24, 24x24 m.

3.8. Simulação da Produtividade das Culturas

3.8.1. Material

- Funções de produção das culturas de batata, feijão e trigo com relação à lâmina de água total aplicada.

- Grades de lâminas precipitadas, nos espaçamentos simulados entre aspersores de 6x12, 12x12, 12x15, 12x18, 18x18, 18x24 e 24x24 m.

3.8.2. Processamento dos Dados

Igualando-se a derivada primeira das funções de produções ao valor zero e obtendo-se a raiz da equação, encontrou-se a lâmina de água total que induziu à produção máxima das culturas.

Para a simulação da produtividade das culturas, admitiu-se algumas hipóteses :

1. Não houve redistribuição horizontal significativa no solo considerado.

2. A quadricula da grade que recebeu a lâmina média, foi considerada a quadricula de maior produtividade (eficiência de 100%).

O valor precipitado em cada quadricula da grade, foi dividido pelo valor médio precipitado em todas as quadriculas, obtendo-se um valor relativo de lâmina precipitada, este valor relativo por sua vez foi multiplicado pela lâmina de água total que induziu à produção máxima das culturas, resultando então na lâmina de água total, que provavelmente deveria ter sido precipitada nesta quadricula.

Com a utilização da função de produção, estimou-se a produção da cultura em cada quadricula da grade e através de uma somatória, a produção total da área.

Pelo fato de se dispor da produção das culturas em cada quadricula da grade, utilizou-se o coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) como parâmetro para se avaliar a uniformidade de produção da cultura.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Ensaio de Vazão

Na Tabela 2, observa-se os resultados dos ensaios de vazão dos aspersores Dantas MD 20 A, com um bocal (principal) e com dois bocais (principal e secundário).

Tabela 2. Resultados dos ensaios de vazão dos aspersores Dantas MD 20 A, com um e com dois bocais.

ENSAIO	PRESSÃO (mca)					
	20	25	30	35	40	45
	VAZÃO (m ³ /h)					
:ASP 1 (1 bocal)	0.490	0.548	0.600	0.648	0.693	0.735
:ASP 1 (2 bocais)	0.851	0.951	1.042	1.125	1.203	1.276
:ASP 2 (1 bocal)	0.963	1.074	1.174	1.266	1.351	1.431
:ASP 2 (2 bocais)	1.284	1.432	1.566	1.689	1.803	1.910
:ASP 3 (1 bocal)	1.950	2.179	2.386	2.577	2.754	2.920
:ASP 3 (2 bocais)	2.182	2.431	2.656	2.863	3.054	3.234

Na Tabela 3, estão relacionadas as áreas dos bocais dos aspersores ensaiados; para efeito de cálculo considerou-se o diâmetro equivalente à uma área de formato circular.

Tabela 3. Areas dos bocais dos aspersores Dantas MD 20 A.

	ASP 1	ASP 2	ASP 3
AREA BOCAL PRINCIPAL (mm ²)	7.645	15.553	30.385
AREA BOCAL SECUNDARIO (mm ²)	5.632	5.096	5.540
AREA TOTAL (mm ²)	13.277	20.648	35.925
DIAMETRO EQUIVALENTE (mm)	4.116	5.127	6.763

A vazão de um aspersor em função da pressão de serviço, é dada pela equação (30); na Tabela 4, tem-se os coeficientes das equações dos aspersores ensaiados.

$$\text{Vazão} = K \cdot \text{Pressão}^x \dots \dots \dots (30)$$

Tabela 4. Coeficientes da equação vazão x pressão dos aspersores ensaiados.

ENSAIO	K	x	Cd	r ²
ASP 1 (1 bocal)	3.05E-05	0.4998	0.9003	0.9990
ASP 1 (2 bocais)	5.29E-05	0.4996	0.9001	0.9980
ASP 2 (1 bocal)	6.21E-05	0.4888	0.9008	0.9990
ASP 2 (2 bocais)	8.23E-05	0.4898	0.8993	0.9990
ASP 3 (1 bocal)	1.22E-04	0.4981	0.9051	0.9980
ASP 3 (2 bocais)	1.42E-04	0.4851	0.8907	0.9980

Os resultados dos coeficientes x e de r^2 , comprovam a boa precisão dos instrumentos utilizados, destacando-se neste ensaio, a atuação do medidor de fluxo indutivo magnético, que propiciou redução no tempo de ensaio, sem que a precisão fosse prejudicada.

Na Figura 15, observa-se o comportamento dos aspersores ensaiados, dentro dos limites estabelecidos de Pressão x Vazão.

Figura 15. Curvas características pressão x vazão dos aspersor Dantas MD 20 A (1, 2 e 3), com um e com dois bocais.

4.2. Ensaio da Força Tangencial da Mola Acoplada ao Defletor Martelo.

Na Tabela 5, tem-se os resultados dos ensaios da força tangencial exercida pela mola do defletor martelo, a uma distância de 6 cm do eixo de rotação do aspersor, com relação ao ângulo defletido.

Tabela 5. Resultados dos ensaios de determinação da força tangencial da mola acoplada ao defletor martelo a uma distância de 6 cm do eixo de rotação do aspersor.

:-----:						
: ASP 1		: ASP 2		: ASP 3		:
:-----:						
: ANG.	FT(gf)	ANG.	FT(gf)	ANG.	FT(gf)	:
:-----:						
: 0	0.00	0	0.00	0	0.00	:
: 20	7.41	10	2.84	20	3.24	:
: 40	13.35	30	7.60	40	7.44	:
: 60	18.38	50	13.97	60	12.60	:
: 80	24.55	70	19.30	80	21.39	:
: 100	29.64	90	23.15	100	24.00	:
: 120	34.39	110	28.21	120	28.56	:
: 140	38.75	130	36.34	140	33.93	:
: 160	43.02	150	41.45	160	41.56	:
: 180	49.43	170	46.82	180	47.48	:
: 200	56.47	190	54.20	200	53.01	:
:-----:						

Segundo a lei de Hooke, em uma mola, a força deformante é proporcional à deformação elástica produzida. A deformação elástica sofrida em uma mola de torção, é proporcional ao ângulo defletido pela mesma; sabe-se que sob a ação de uma força F , observa-se uma deformação angular α , a relação F/α é conhecida como constante da mola (K).

A força tangencial exercida pela mola de torção pode ser representada pela equação linear (31).

$$\text{Força} = (K \cdot \alpha) + b \dots\dots\dots (31)$$

Com a regressão linear dos dados da Tabela 5, estimou-se os coeficientes da equação 31, para os três aspersores ensaiados, que estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Coeficientes da equação linear, característica da deformação da mola dos aspersores Dantas MD 20 A.

	K	b	r ²
MOLA ASP 1	0.268	1.852	0.996
MOLA ASP 2	0.279	-0.546	0.997
MOLA ASP 3	0.277	-2.658	0.993

Na Figura 16, encontram-se os gráficos das equações das molas dos aspersores 1, 2 e 3; nota-se que os valores obtidos assim como os coeficientes da Tabela 6, não diferem para os três modelos analisados, indicando uma razoável uniformidade nas características físicas das molas utilizadas pelo fabricante; não foi objetivo deste trabalho quantificar a uniformidade de fabricação de molas, mas sim fornecer subsídios para o estudo da energia absorvida pelo defletor martelo, cujos resultados serão discutidos posteriormente.

ÂNGULO DEFLETIDO PELA MOLA ACOPLADA AO DEFLETOR-MARTELO

Figura 16. Relação entre o ângulo defletido pela mola acoplada ao defletor-martelo e a força tangencial exercida a 6 cm do eixo de torção

4.3. Ensaio do Volume de Água desviado pela Ação do Defletor-Martelo.

Nas Figuras 17 e 18, observa-se a porcentagem de água desviada do jato principal dos aspersores 1, 2 e 3, devido à ação do defletor-martelo; os resultados foram distribuídos em seis pressões de serviço (20, 25, 30, 35, 40 e 45 mca), de acordo com o bocal e a tensão da mola utilizados; cada ponto do gráfico é média de três repetições realizadas com os aspersores 1, 2 e 3.

Nos resultados obtidos, observaram-se os seguintes aspectos:

- a) a ação do defletor-martelo no desvio de água do jato principal do aspersor, é mais pronunciada em bocais de menor diâmetro. Na tensão 4 e pressão de 20 mca, observou-se um desvio do volume de água do jato principal de 8,3 , 14,0 e 21,0% nos bocais de 6,2 , 4,4 e 3,1 mm de diâmetro respectivamente.
- b) A tensão da mola altera significativamente a porcentagem de água desviada do jato principal. Observando-se o comportamento do bocal 3,1 mm de diâmetro na pressão de 20 mca, nota-se que na tensão 1 da mola, desviou-se 10% da água do jato principal, enquanto que na tensão 8, houve um desvio de 40%
- c) Quanto menor a pressão de serviço, maior a porcentagem do volume de água desviado do jato proveniente do bocal principal; para o bocal de 3,1 mm de diâmetro na tensão 4 da mola e na pressão de 20 mca, observou-se um desvio de 20%, enquanto na pressão de 45 mca um desvio de 10%, isto é explicado pelo fato de que nas menores pressões, ocorre um menor deslocamento angular do defletor-martelo, reduzindo o período de oscilação e aumentando conseqüentemente a porcentagem do volume de água desviado.

- d) Em condições normais de operação do aspersor (tensão 1), a porcentagem do volume desviado variou entre 4 e 13%, já em condições de elevada tensão da mola (tensão 8), este valor oscilou entre 17 e 40%.

Os dados nos ensaios, aproximam-se das citações de BERNUTH (1984), de que os engenheiros das indústrias fabricantes de aspersores, indicam que em aspersores médios, 15% da água é desviada; BEAN (1965), mencionou que em condições normais de operação, 13,2% do volume total de água é desviado pelo defletor-martelo, sendo que este valor poderá alcançar valores entre 40% e 50% caso a frequência de interrupção do jato seja elevada.

Figura 17. Porcentagem média de água desviada do jato principal dos aspersores ensaiados em relação à tensão de mola, para os três bocais estudados.

Figura 18. Porcentagem média de água desviada do jato principal com relação à tensão da mola, para as 6 pressões de serviço submetidas aos aspersores ensaiados.

4.4. Ensaio do Período de Oscilação do Defletor-Martelo

Na tabela 7, encontram-se os resultados dos ensaios de mensuração do período de oscilação do defletor-martelo, realizados nos três aspersores combinando-se os bocais de 3,1 , 4,4 e 6,2 mm. Os resultados foram distribuídos em seis pressões (20, 25, 30, 35, 40 e 45 mca) de acordo com o bocal e a tensão da mola utilizados.

Na Figura 19, observa-se o período de oscilação do defletor-martelo em relação à tensão da mola nas seis pressões de serviço para os três bocais estudados. Na Figura 20, observa-se o período de oscilação do defletor-martelo em relação à tensão da mola nos três bocais para as seis pressões. A partir dessas figuras, podem-se visualizar os seguintes aspectos:

- a) O período de oscilação do defletor-martelo diminui à medida que o diâmetro do bocal também diminui. Observando a pressão de 20 mca na tensão 4 da mola, têm-se um período de oscilação do defletor martelo de 24, 21 e 18 centésimos de segundo para os bocais de 6,2, 4,4 e 3,1 mm de diâmetro respectivamente.
- b) Quanto maior a tensão da mola menor o período de oscilação do defletor-martelo. Observando o bocal de 4,4 x 2,5 mm nas diversas pressões, nota-se nas tensões 1 e 8 da mola acoplada ao defletor-martelo um valor de 45 e 15

centésimos de segundo por período de oscilação respectivamente.

- c) Quanto menor a pressão de serviço, menor o período de oscilação do defletor-martelo. Em todos os ensaios realizados, evidenciou-se este comportamento; na tensão 4 da mola com o bocal de 4,4 mm de diâmetro para as pressões de 20 e 40 mca, obteve-se um período de oscilação do defletor-martelo de 21 e 28 centésimos de segundo respectivamente.

Figura 19. Período de oscilação do defletor-martelo com relação à tensão da mola nas seis pressões de serviço, para os três bocais estudados.

Figura 20. Período de oscilação do defletor-martelo com relação à tensão da mola nos tres bocais, para as seis pressões de serviço estudadas.

4.5. Porcentagem de energia absorvida do volume de água desviado pelo defletor-martelo

Os resultados das mensurações do deslocamento angular do defletor-martelo submetido à quatro tensões da mola e seis pressões, nos três aspersores com bocais combinados, encontram-se na tabela 8.

Na figura 21, observa-se a porcentagem de energia absorvida da água desviada pelo defletor-martelo em relação à tensão da mola, nas seis pressões de serviço, para os três bocais estudados; nesta figura, nota-se uma variação de comportamento entre os bocais ensaiados, uma hipótese levantada para explicar esta variação é a ocorrência de uma interação diferenciada entre o jato emergente de cada bocal e a peça triangular oscilante acoplada ao defletor-martelo do aspersor Dantas MD 20 A.

O bocal de 3,1 mm de diâmetro, inversamente aos outros dois bocais, apresentou uma menor porcentagem de energia absorvida com o aumento da tensão da mola. A hipótese da interação diferenciada, baseia-se no fato de existir inúmeros fatores influenciando no processo dentre os quais pode-se citar três: a inércia do defletor-martelo, a elasticidade do choque com o batente e o posicionamento do eixo de oscilação da peça plástica triangular em relação ao empuxo do jato.

Embora tenha ocorrido uma variação de compor-

tamento entre os bocais, observou-se uma amplitude de variação pequena (35 - 55%) de energia absorvida, em modelos de simulação de trajetória balística, o emprego de um valor médio em torno de 45%, dará uma boa aproximação, pois em condições normais de operação, o volume de água desviado pelo defletor-martelo está em torno de 5 a 10% da vazão do bocal principal.

Tabela 8. Deslocamento angular do defletor-martelo submetido a quatro tensões da mola e seis pressões de serviço na combinação dos três aspersores e dos três bocais.

		PRESSAO (mca)					
		20	25	30	35	40	45
	TENSAO DA MOLDA	(ANGULO DEFLETIDO PELO DEFLETOR MARTELO)					
ASP 1 BOCAL 3.1 x 2.5	T1	72.500	87.300	98.500	111.000	116.000	124.200
	T2	57.000	72.000	82.800	94.000	103.000	115.000
	T4	33.500	44.300	52.000	61.500	70.000	79.000
	T8	12.000	17.000	24.500	29.000	35.500	40.000
ASP 2 BOCAL 3.1 x 2.5	T1	52.000	65.000	76.000	85.000	98.000	110.000
	T2	37.000	48.000	56.000	68.000	76.000	84.000
	T4	22.500	30.500	38.500	44.500	53.500	59.500
	T8	7.000	13.500	20.000	24.000	28.000	33.000
ASP 3 BOCAL 3.1 x 2.5	T1	88.500	102.000	115.000	122.000	127.500	133.500
	T2	58.500	73.500	84.500	95.500	105.500	116.000
	T4	33.500	42.000	52.000	61.500	67.500	77.000
	T8	4.500	14.500	19.500	28.000	33.000	38.000
ASP 1 BOCAL 4.4 x 2.5	T1	113.000	133.800	143.000	158.000	179.000	196.000
	T2	91.500	110.500	124.000	135.000	148.500	161.500
	T4	60.500	73.800	89.000	98.800	113.200	126.500
	T8	29.500	39.000	47.500	53.500	62.000	70.200
ASP 2 BOCAL 4.4 x 2.5	T1	89.000	110.800	132.200	148.500	162.100	168.000
	T2	66.700	82.000	98.000	112.070	132.000	148.500
	T4	44.400	57.400	73.000	85.700	98.600	109.900
	T8	21.000	27.000	38.500	47.500	53.000	60.500
ASP 3 BOCAL 4.4 x 2.5	T1	80.700	100.000	116.000	125.500	133.500	154.500
	T2	63.000	79.500	97.000	112.500	121.000	129.500
	T4	43.500	57.000	70.500	83.000	96.500	109.000
	T8	25.500	32.500	42.000	52.000	60.000	69.000
ASP 1 BOCAL 6.2 x 2.5	T1	146.000	170.000	181.000	198.000	208.500	217.000
	T2	125.000	142.000	161.000	174.000	196.000	204.000
	T4	84.000	103.000	110.000	120.000	140.050	151.000
	T8	40.500	56.500	68.500	79.500	90.500	102.000
ASP 2 BOCAL 6.2 x 2.5	T1	113.000	148.000	152.000	175.000	204.000	213.000
	T2	93.000	119.000	130.500	139.000	152.000	161.000
	T4	71.500	87.500	99.500	115.500	123.500	129.500
	T8	41.500	52.500	57.500	70.000	79.500	87.000
ASP 3 BOCAL 6.2 x 2.5	T1	122.600	143.700	166.300	188.100	206.600	229.100
	T2	101.000	121.500	146.000	153.800	171.500	186.500
	T4	70.500	90.500	105.500	120.000	132.800	148.000
	T8	36.500	50.000	59.000	69.500	83.000	93.000

(* media de tres repeticoes)

Figura 21. Porcentagem de energia absorvida da água desviada pelo defletor-martelo em relação à tensão da mola, nas seis pressões de serviço, para os três bocais estudados.

4.6. Ensaio de distribuição espacial de água dos aspersores

4.6.1. Volumes médios de água precipitados nos coletores em disposição radial nos ensaios de distribuição

Nas tabelas 9 a 14, observa-se o volume médio de água precipitado nos coletores dispostos radialmente, resultante das duas linhas de coletores principais e da linha secundária; os códigos de ensaio encontram-se especificados na tabela 1.

Com os volumes coletados nos 60 perfis de distribuição, calculou-se para cada coletor, o desvio padrão dos volumes precipitados nos diferentes ensaios realizados, na figura 22 tem-se o desvio padrão dos volumes observados em cada coletor.

Os resultados obtidos de desvios padrões, estão de acordo com as citações de FISCHER & WALLENDER (1988); observou-se um maior desvio padrão em coletores situados nas duas extremidades do perfil, isto comprova a ação do defletor-martelo, da velocidade de rotação e da pressão de serviço em alterar o perfil de distribuição de um aspersor.

Figura 22. Desvio-padrão dos volumes de água coletados em cada coletor, para os sessenta ensaios de distribuição realizados.

4.6.2. Processamento dos volumes de água coletados

Os perfis obtidos nos sessenta ensaios realizados, foram processados com a utilização de um software desenvolvido, conforme a metodologia descrita anteriormente.

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), foi utilizado como parâmetro de medida da uniformidade da lâmina de água aplicada e da produção das culturas de

batata, feijão e trigo, nos espaçamentos de 6 x 12, 12 x 12, 12 x 15, 12 x 18, 18 x 18, 18 x 24 e 24 x 24 metros entre aspersores; um outro índice obtido, foi a porcentagem de queda da produtividade das culturas com relação ao potencial máximo em função do fator água. Os resultados encontram-se nas tabelas 15 a 20.

[illegible]

Tabela 10. Volume médio de água precipitado nos coletores em disposição radial nos ensaios de distribuição.

[illegible]

disposição radial nos ensaios de distribuição.

[illegible]

[illegible]

Tabela 13. Volume médio de água precipitado nos coletores em disposição radial nos ensaios de distribuição.

[illegible]

Tabela 14. Volume médio de água precipitado nos coletores em disposição radial nos ensaios de distribuição.

[illegible]

Tabela 15. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.

CODIGO DO ENSAIO	COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN								QUEDA DE PRODUTIVIDADE (%)							
	ESPACAMENTO (m)								ESPACAMENTO (m)							
	6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24		6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24	
233	AGUA	0.910	0.882	0.869	0.820	0.843	0.656	0.585								
	BATATA	0.985	0.953	0.934	0.889	0.907	0.664	0.533	BATATA	2.161	4.497	5.945	10.198	8.183	28.977	31.776
	FEIJAO	0.988	0.973	0.961	0.935	0.945	0.764	0.608	FEIJAO	0.165	2.215	3.245	6.009	4.864	20.938	26.090
	TRIGO	0.988	0.968	0.954	0.923	0.934	0.731	0.582	TRIGO	0.562	2.760	3.920	7.109	5.736	23.545	27.902
223	AGUA	0.907	0.859	0.846	0.794	0.778	0.609	0.539								
	BATATA	0.982	0.972	0.947	0.890	0.810	0.580	0.499	BATATA	2.400	4.766	6.244	11.680	15.299	33.285	34.427
	FEIJAO	0.987	0.983	0.968	0.935	0.889	0.669	0.587	FEIJAO	0.299	2.377	3.427	6.941	9.357	25.667	28.094
	TRIGO	0.986	0.980	0.963	0.923	0.868	0.644	0.561	TRIGO	0.723	2.951	4.135	8.194	10.961	28.035	30.003
213	AGUA	0.891	0.850	0.830	0.773	0.736	0.578	0.495								
	BATATA	0.980	0.946	0.918	0.833	0.769	0.575	0.463	BATATA	3.039	6.292	8.370	15.037	18.957	35.069	37.942
	FEIJAO	0.986	0.968	0.953	0.902	0.831	0.691	0.575	FEIJAO	0.766	3.372	4.796	9.199	13.504	26.147	30.327
	TRIGO	0.984	0.962	0.944	0.883	0.806	0.658	0.541	TRIGO	1.245	4.098	5.717	10.812	15.367	28.786	32.659
212	AGUA	0.945	0.932	0.905	0.802	0.758	0.527	0.412								
	BATATA	0.992	0.986	0.972	0.912	0.771	0.329	0.152	BATATA	0.962	1.523	2.882	10.398	19.026	45.633	51.957
	FEIJAO	0.990	0.992	0.984	0.948	0.865	0.523	0.322	FEIJAO	0.000	0.391	1.354	6.173	11.921	35.187	44.033
	TRIGO	0.991	0.991	0.981	0.939	0.839	0.459	0.263	TRIGO	0.000	0.622	1.707	7.287	13.933	38.695	46.816
232	AGUA	0.900	0.846	0.872	0.857	0.819	0.734	0.646								
	BATATA	0.976	0.951	0.967	0.942	0.919	0.720	0.647	BATATA	2.885	6.266	4.367	5.959	9.241	21.776	27.943
	FEIJAO	0.985	0.970	0.980	0.965	0.951	0.821	0.710	FEIJAO	0.664	3.354	2.264	3.344	5.542	14.641	21.822
	TRIGO	0.984	0.965	0.977	0.959	0.943	0.791	0.690	TRIGO	1.129	4.078	2.775	4.007	6.521	16.774	23.672
242	AGUA	0.896	0.841	0.883	0.868	0.839	0.780	0.656								
	BATATA	0.979	0.954	0.964	0.939	0.932	0.788	0.705	BATATA	2.863	6.440	3.983	5.780	7.475	16.813	27.661
	FEIJAO	0.986	0.973	0.979	0.963	0.959	0.875	0.767	FEIJAO	0.665	3.472	2.027	3.236	4.428	10.477	20.585
	TRIGO	0.985	0.968	0.975	0.957	0.952	0.851	0.745	TRIGO	1.125	4.211	2.498	3.879	5.226	12.239	22.782
252	AGUA	0.853	0.793	0.815	0.828	0.757	0.722	0.665								
	BATATA	0.959	0.898	0.931	0.928	0.857	0.700	0.671	BATATA	5.561	11.699	8.790	8.199	15.903	22.279	26.054
	FEIJAO	0.975	0.940	0.959	0.957	0.916	0.801	0.752	FEIJAO	2.206	6.713	5.000	4.710	9.719	15.358	19.775
	TRIGO	0.971	0.929	0.951	0.950	0.901	0.770	0.730	TRIGO	2.969	8.006	5.974	5.610	11.388	17.482	21.565
253	AGUA	0.869	0.803	0.827	0.823	0.751	0.687	0.620								
	BATATA	0.964	0.910	0.938	0.928	0.820	0.659	0.614	BATATA	4.604	10.398	7.886	8.490	17.583	25.642	30.557
	FEIJAO	0.978	0.947	0.963	0.958	0.896	0.764	0.703	FEIJAO	1.596	5.888	4.428	4.892	10.780	18.315	23.655
	TRIGO	0.975	0.937	0.956	0.950	0.876	0.731	0.678	TRIGO	2.262	7.048	5.310	5.823	12.622	20.619	25.678
254	AGUA	0.856	0.798	0.824	0.825	0.764	0.712	0.645								
	BATATA	0.965	0.914	0.930	0.920	0.857	0.685	0.659	BATATA	5.176	10.762	8.324	8.590	15.380	23.173	27.055
	FEIJAO	0.979	0.949	0.956	0.953	0.916	0.771	0.739	FEIJAO	2.071	6.175	4.749	4.993	9.413	17.022	20.722
	TRIGO	0.976	0.940	0.950	0.944	0.901	0.741	0.717	TRIGO	2.778	7.363	5.668	5.928	11.024	19.064	22.551
251	AGUA	0.915	0.833	0.881	0.877	0.793	0.761	0.649								
	BATATA	0.977	0.949	0.963	0.932	0.889	0.746	0.702	BATATA	2.413	7.145	4.198	5.767	12.049	19.412	28.175
	FEIJAO	0.987	0.969	0.978	0.960	0.934	0.841	0.764	FEIJAO	0.501	3.977	2.211	3.268	7.346	12.765	21.009
	TRIGO	0.985	0.964	0.974	0.952	0.922	0.814	0.744	TRIGO	0.895	4.780	2.696	3.903	8.609	14.730	23.195

Tabela 16. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.

CODIGO: DO ENSAIO:	COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN								QUEDA DE PRODUTIVIDADE (%)							
	ESPACAMENTO (m)								ESPACAMENTO (m)							
	6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24		6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24	
222	AGUA	0.937	0.914	0.892	0.840	0.842	0.631	0.575								
	BATATA	0.990	0.989	0.958	0.936	0.898	0.617	0.449	BATATA	1.222	1.849	3.973	7.117	8.489	32.001	34.334
	FEIJAO	0.989	0.992	0.975	0.962	0.939	0.710	0.546	FEIJAO	0.600	0.581	2.030	4.088	5.074	23.925	28.601
	TRIGO	0.991	0.992	0.971	0.955	0.928	0.680	0.513	TRIGO	0.000	0.847	2.498	4.868	5.975	26.433	30.469
224	AGUA	0.900	0.840	0.799	0.722	0.688	0.503	0.413								
	BATATA	0.980	0.944	0.898	0.778	0.683	0.468	0.351	BATATA	2.681	6.767	10.987	21.000	24.679	40.383	42.515
	FEIJAO	0.987	0.968	0.940	0.864	0.764	0.568	0.449	FEIJAO	0.597	3.702	6.473	13.470	16.317	32.293	35.966
	TRIGO	0.986	0.962	0.929	0.838	0.740	0.538	0.415	TRIGO	1.031	4.471	7.659	15.737	20.228	34.750	38.137
221	AGUA	0.941	0.916	0.868	0.870	0.834	0.651	0.612								
	BATATA	0.991	0.976	0.953	0.947	0.940	0.597	0.374	BATATA	1.067	2.440	5.206	5.466	7.545	30.650	36.520
	FEIJAO	0.988	0.987	0.972	0.968	0.964	0.736	0.472	FEIJAO	0.006	0.908	2.773	3.014	4.457	21.484	31.544
	TRIGO	0.990	0.984	0.967	0.963	0.957	0.699	0.440	TRIGO	0.000	1.243	3.373	3.628	5.264	24.100	33.151
211	AGUA	0.901	0.867	0.892	0.796	0.748	0.514	0.288								
	BATATA	0.966	0.937	0.956	0.900	0.805	0.169	0.069	BATATA	3.280	5.938	4.101	11.183	17.836	50.052	66.800
	FEIJAO	0.963	0.964	0.974	0.941	0.867	0.375	0.063	FEIJAO	0.934	3.156	2.104	6.652	12.222	41.129	59.205
	TRIGO	0.979	0.957	0.969	0.930	0.850	0.298	0.014	TRIGO	1.436	3.844	2.586	7.850	13.814	44.458	61.742
231	AGUA	0.938	0.922	0.886	0.841	0.900	0.702	0.654								
	BATATA	0.992	0.977	0.941	0.921	0.959	0.823	0.530	BATATA	1.136	2.176	4.912	7.414	3.714	21.519	30.603
	FEIJAO	0.987	0.987	0.966	0.959	0.976	0.893	0.635	FEIJAO	0.000	0.690	2.546	4.211	2.012	13.726	24.210
	TRIGO	0.989	0.985	0.959	0.951	0.972	0.874	0.599	TRIGO	0.000	1.006	3.122	5.031	2.430	15.900	26.325
241	AGUA	0.876	0.805	0.860	0.867	0.795	0.792	0.650								
	BATATA	0.968	0.929	0.960	0.926	0.895	0.789	0.738	BATATA	4.085	9.732	5.279	6.493	11.609	15.694	28.743
	FEIJAO	0.981	0.958	0.976	0.956	0.938	0.874	0.818	FEIJAO	1.364	5.515	2.817	3.662	7.025	9.798	20.025
	TRIGO	0.978	0.950	0.972	0.948	0.926	0.851	0.792	TRIGO	1.961	6.599	3.425	4.382	8.250	11.453	22.714
234	AGUA	0.889	0.835	0.809	0.745	0.745	0.549	0.480								
	BATATA	0.975	0.897	0.855	0.783	0.754	0.583	0.421	BATATA	3.280	9.005	12.404	18.218	18.039	35.186	36.868
	FEIJAO	0.984	0.941	0.915	0.845	0.815	0.661	0.502	FEIJAO	0.924	5.090	7.362	12.811	13.356	27.251	31.374
	TRIGO	0.983	0.929	0.899	0.827	0.797	0.635	0.475	TRIGO	1.420	6.094	8.700	14.367	14.712	29.662	33.107
214	AGUA	0.880	0.827	0.783	0.692	0.642	0.456	0.313								
	BATATA	0.972	0.872	0.822	0.743	0.680	0.364	0.293	BATATA	3.814	10.137	14.270	22.512	25.578	44.830	51.884
	FEIJAO	0.983	0.920	0.876	0.805	0.756	0.547	0.424	FEIJAO	1.388	6.192	9.703	16.394	19.286	34.680	42.374
	TRIGO	0.981	0.905	0.859	0.785	0.735	0.491	0.385	TRIGO	1.926	7.354	11.030	18.225	21.043	37.966	45.335
244	AGUA	0.855	0.861	0.829	0.803	0.791	0.703	0.582								
	BATATA	0.963	0.909	0.896	0.851	0.865	0.659	0.666	BATATA	5.328	10.495	9.333	12.921	13.205	25.445	30.862
	FEIJAO	0.977	0.946	0.939	0.912	0.920	0.760	0.712	FEIJAO	2.225	6.035	5.410	7.750	8.051	18.594	23.919
	TRIGO	0.974	0.937	0.927	0.896	0.906	0.731	0.697	TRIGO	2.938	7.192	6.429	9.127	9.437	20.608	25.960
243	AGUA	0.898	0.847	0.868	0.820	0.827	0.694	0.592								
	BATATA	0.977	0.961	0.929	0.906	0.935	0.660	0.581	BATATA	2.921	5.851	6.021	9.427	8.130	27.171	32.429
	FEIJAO	0.985	0.976	0.959	0.944	0.961	0.797	0.655	FEIJAO	0.750	3.123	3.335	5.557	4.853	17.831	25.737
	TRIGO	0.984	0.972	0.951	0.934	0.954	0.756	0.633	TRIGO	1.208	3.798	4.011	6.572	5.717	20.729	27.739

Tabela 17. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.

CODIGO: DO ENSAIO:	COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN								QUEDA DE PRODUTIVIDADE (%)							
	ESPACAMENTO (m)								ESPACAMENTO (m)							
	6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24		6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24	
333	AGUA	0.951	0.931	0.912	0.857	0.836	0.631	0.560	BATATA	0.750	1.303	2.496	5.809	7.799	33.726	36.352
	BATATA	0.994	0.992	0.975	0.949	0.926	0.589	0.444	FEIJAO	0.000	0.170	1.044	3.218	4.609	23.993	30.136
	FEIJAO	0.986	0.994	0.986	0.970	0.956	0.722	0.540	TRIGO	0.000	0.391	1.369	3.870	5.444	27.144	32.092
	TRIGO	0.990	0.993	0.983	0.964	0.948	0.678	0.509								
323	AGUA	0.910	0.878	0.846	0.772	0.711	0.535	0.429	BATATA	2.336	4.218	6.821	14.164	22.193	41.255	45.472
	BATATA	0.981	0.964	0.938	0.667	0.747	0.486	0.361	FEIJAO	0.204	2.003	3.770	8.493	15.748	30.780	36.266
	FEIJAO	0.987	0.979	0.964	0.923	0.815	0.637	0.506	TRIGO	0.630	2.525	4.540	10.004	17.867	33.905	39.151
	TRIGO	0.986	0.975	0.957	0.908	0.790	0.596	0.462								
313	AGUA	0.927	0.898	0.865	0.784	0.725	0.535	0.425	BATATA	1.641	2.860	5.098	12.412	21.081	42.539	47.043
	BATATA	0.987	0.977	0.957	0.892	0.764	0.460	0.321	FEIJAO	0.000	1.164	2.692	7.394	14.052	31.840	37.882
	FEIJAO	0.988	0.987	0.975	0.937	0.846	0.619	0.474	TRIGO	0.143	1.545	3.284	8.724	16.374	35.094	40.838
	TRIGO	0.990	0.984	0.970	0.925	0.816	0.574	0.425								
312	AGUA	0.943	0.938	0.895	0.764	0.733	0.501	0.369	BATATA	1.091	1.554	3.209	11.579	21.776	49.233	55.954
	BATATA	0.990	0.982	0.971	0.914	0.742	0.281	0.114	FEIJAO	0.000	0.295	1.467	6.956	13.614	37.963	46.802
	FEIJAO	0.987	0.991	0.984	0.949	0.851	0.499	0.308	TRIGO	0.000	0.547	1.869	8.223	15.917	41.831	50.053
	TRIGO	0.989	0.989	0.981	0.940	0.821	0.426	0.238								
332	AGUA	0.929	0.886	0.899	0.869	0.839	0.695	0.636	BATATA	1.614	3.499	2.830	4.758	7.728	24.713	30.026
	BATATA	0.986	0.973	0.978	0.958	0.925	0.719	0.570	FEIJAO	0.000	1.491	1.202	2.509	4.534	16.816	23.672
	FEIJAO	0.987	0.984	0.967	0.976	0.955	0.817	0.661	TRIGO	0.003	1.948	1.569	3.061	5.367	19.276	25.619
	TRIGO	0.989	0.981	0.985	0.971	0.947	0.786	0.633								
342	AGUA	0.925	0.869	0.898	0.882	0.837	0.737	0.666	BATATA	1.796	4.502	2.933	4.195	7.882	20.334	27.193
	BATATA	0.984	0.967	0.976	0.958	0.927	0.761	0.634	FEIJAO	0.000	2.135	1.275	2.160	4.636	13.452	21.600
	FEIJAO	0.987	0.980	0.986	0.976	0.956	0.848	0.713	TRIGO	1.155	2.694	1.651	2.652	5.483	15.460	22.895
	TRIGO	0.988	0.977	0.983	0.971	0.948	0.823	0.689								
352	AGUA	0.906	0.855	0.871	0.865	0.808	0.732	0.674	BATATA	2.680	6.022	4.500	5.397	10.814	20.585	26.243
	BATATA	0.976	0.947	0.965	0.951	0.891	0.742	0.649	FEIJAO	0.301	3.083	1.236	2.911	6.483	14.297	20.106
	FEIJAO	0.985	0.969	0.979	0.971	0.925	0.824	0.730	TRIGO	0.780	3.799	2.794	3.528	7.633	16.201	21.904
	TRIGO	0.983	0.963	0.975	0.966	0.923	0.798	0.707								
353	AGUA	0.906	0.860	0.877	0.881	0.820	0.755	0.704	BATATA	2.446	5.706	4.044	4.157	9.274	17.659	24.711
	BATATA	0.981	0.948	0.968	0.964	0.911	0.790	0.669	FEIJAO	0.134	2.873	1.959	2.121	5.506	11.540	18.452
	FEIJAO	0.986	0.970	0.981	0.979	0.947	0.867	0.757	TRIGO	0.594	3.559	2.453	2.612	6.499	13.363	20.455
	TRIGO	0.986	0.964	0.977	0.975	0.937	0.844	0.728								
354	AGUA	0.891	0.844	0.852	0.840	0.783	0.689	0.647	BATATA	3.132	6.626	5.713	6.688	13.329	25.682	28.358
	BATATA	0.977	0.946	0.958	0.948	0.870	0.679	0.612	FEIJAO	0.523	3.433	2.996	3.706	8.059	18.153	22.274
	FEIJAO	0.984	0.968	0.974	0.969	0.923	0.777	0.697	TRIGO	1.060	4.210	3.663	4.459	9.469	20.586	24.058
	TRIGO	0.983	0.962	0.970	0.964	0.909	0.744	0.673								
351	AGUA	0.893	0.815	0.845	0.839	0.758	0.700	0.639	BATATA	3.411	8.888	6.417	7.466	16.805	23.973	28.832
	BATATA	0.970	0.931	0.948	0.930	0.830	0.684	0.633	FEIJAO	0.933	4.980	3.535	4.275	10.308	17.273	22.312
	FEIJAO	0.982	0.959	0.969	0.959	0.901	0.777	0.716	TRIGO	1.462	5.977	4.260	5.096	12.067	19.354	24.253
	TRIGO	0.979	0.951	0.963	0.951	0.882	0.746	0.692								

Tabela 18. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.

COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN									QUEDA DE PRODUTIVIDADE (%)								
CÓDIGO DO ENSAIO		ESPACAMENTO (m)							ESPACAMENTO (m)								
		6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24	6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24		
122	ÁGUA	0.923	0.886	0.851	0.796	0.823	0.599	0.551									
	BATATA	0.985	0.966	0.931	0.882	0.845	0.586	0.421	BATATA	1.788	3.770	6.850	11.900	11.880	34.380	35.020	
	FEIJAO	0.990	0.980	0.959	0.930	0.904	0.683	0.505	FEIJAO	0.198	1.890	3.920	7.170	7.490	25.930	30.070	
	TRIGO	0.990	0.976	0.951	0.918	0.887	0.652	0.476	TRIGO	0.510	2.340	4.680	8.430	8.770	28.540	31.710	
124	ÁGUA	0.875	0.783	0.745	0.665	0.623	0.444	0.384									
	BATATA	0.973	0.807	0.771	0.717	0.636	0.414	0.239	BATATA	3.972	15.473	18.999	25.391	28.413	42.400	44.243	
	FEIJAO	0.983	0.886	0.844	0.783	0.732	0.515	0.331	FEIJAO	1.721	9.499	13.078	18.708	21.305	34.566	39.408	
	TRIGO	0.981	0.864	0.822	0.765	0.706	0.483	0.301	TRIGO	2.238	11.161	14.815	20.601	23.361	36.951	40.991	
121	ÁGUA	0.899	0.839	0.767	0.790	0.713	0.626	0.555									
	BATATA	0.975	0.914	0.834	0.858	0.790	0.504	0.368	BATATA	2.948	8.169	15.915	13.018	21.978	33.380	41.979	
	FEIJAO	0.986	0.950	0.903	0.904	0.879	0.610	0.492	FEIJAO	0.876	4.643	9.632	8.659	13.747	26.510	34.794	
	TRIGO	0.984	0.941	0.885	0.891	0.856	0.572	0.453	TRIGO	1.320	5.548	11.318	9.866	16.004	28.820	37.120	
111	ÁGUA	0.865	0.780	0.822	0.796	0.719	0.573	0.331									
	BATATA	0.932	0.864	0.863	0.876	0.866	0.392	0.001	BATATA	6.027	13.825	10.829	12.165	23.186	38.506	68.454	
	FEIJAO	0.965	0.920	0.907	0.927	0.752	0.485	0.190	FEIJAO	2.835	8.224	7.143	7.329	17.248	32.822	57.820	
	TRIGO	0.955	0.905	0.894	0.913	0.716	0.458	0.137	TRIGO	3.592	9.709	8.174	8.618	19.467	34.577	61.240	
131	ÁGUA	0.901	0.863	0.777	0.717	0.804	0.434	0.573									
	BATATA	0.966	0.904	0.830	0.759	0.852	0.441	0.494	BATATA	3.319	7.553	15.274	22.264	12.506	32.945	36.369	
	FEIJAO	0.981	0.945	0.902	0.858	0.913	0.315	0.559	FEIJAO	0.500	3.948	8.994	13.931	7.507	22.637	30.102	
	TRIGO	0.978	0.934	0.864	0.829	0.897	0.352	0.533	TRIGO	1.079	4.839	10.654	16.361	8.838	25.656	32.165	
141	ÁGUA	0.855	0.796	0.827	0.735	0.800	0.663	0.557									
	BATATA	0.947	0.887	0.833	0.810	0.851	0.670	0.517	BATATA	5.952	11.653	12.011	19.581	12.393	36.205	38.982	
	FEIJAO	0.969	0.934	0.902	0.891	0.895	0.816	0.590	FEIJAO	2.701	6.808	7.135	11.986	8.532	19.040	31.129	
	TRIGO	0.964	0.922	0.884	0.870	0.883	0.780	0.564	TRIGO	3.465	8.077	8.425	14.043	9.589	22.145	33.603	
114	ÁGUA	0.757	0.625	0.567	0.466	0.381	0.253	0.140									
	BATATA	0.895	0.665	0.637	0.593	0.492	0.266	0.069	BATATA	14.534	29.934	33.334	41.390	43.935	52.035	56.000	
	FEIJAO	0.938	0.743	0.715	0.679	0.635	0.382	0.210	FEIJAO	8.422	22.310	25.200	31.101	33.074	43.327	49.250	
	TRIGO	0.927	0.722	0.693	0.646	0.597	0.341	0.166	TRIGO	10.019	24.470	27.555	34.056	36.216	46.154	51.536	
134	ÁGUA	0.881	0.801	0.749	0.681	0.648	0.472	0.430									
	BATATA	0.964	0.865	0.830	0.706	0.613	0.427	0.264	BATATA	4.076	12.145	17.425	26.352	29.688	42.385	41.671	
	FEIJAO	0.980	0.920	0.901	0.813	0.716	0.516	0.334	FEIJAO	1.851	7.287	10.691	17.693	22.322	34.680	37.890	
	TRIGO	0.976	0.905	0.882	0.779	0.685	0.490	0.310	TRIGO	2.368	8.579	12.515	20.396	24.523	36.968	39.142	
144	ÁGUA	0.838	0.798	0.773	0.713	0.766	0.585	0.497									
	BATATA	0.934	0.817	0.761	0.737	0.797	0.597	0.479	BATATA	7.541	14.099	17.640	22.174	16.032	34.674	38.637	
	FEIJAO	0.961	0.874	0.844	0.816	0.850	0.723	0.546	FEIJAO	3.930	9.584	11.815	15.636	11.578	25.197	31.901	
	TRIGO	0.954	0.856	0.820	0.794	0.834	0.689	0.524	TRIGO	4.821	10.929	13.538	17.467	12.864	27.940	33.966	
143	ÁGUA	0.832	0.797	0.791	0.722	0.781	0.621	0.520									
	BATATA	0.931	0.815	0.774	0.745	0.825	0.613	0.497	BATATA	6.011	14.452	16.223	21.704	14.742	33.183	39.805	
	FEIJAO	0.960	0.881	0.862	0.831	0.879	0.750	0.569	FEIJAO	4.060	9.327	10.241	14.771	10.144	23.202	32.099	
	TRIGO	0.952	0.860	0.836	0.806	0.864	0.713	0.541	TRIGO	5.026	10.897	12.013	16.790	11.442	26.085	34.581	

Tabela 19. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.

CÓDIGO DO ENSAIO	COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN								QUEDA DE PRODUTIVIDADE (%)							
	ESPAÇAMENTO (m)								ESPAÇAMENTO (m)							
	6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24		6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24	
133	ÁGUA	0.887	0.842	0.796	0.747	0.829	0.621	0.587								
	BATATA	0.969	0.879	0.837	0.776	0.830	0.674	0.479	BATATA	3.706	9.584	13.645	19.458	12.156	30.753	33.365
	FEIJÃO	0.981	0.929	0.904	0.856	0.896	0.768	0.557	FEIJÃO	1.368	5.544	8.202	12.685	7.640	22.198	27.988
	TRIGO	0.978	0.916	0.887	0.834	0.876	0.741	0.530	TRIGO	1.887	6.593	9.654	14.707	8.947	24.700	29.763
123	ÁGUA	0.888	0.828	0.805	0.748	0.777	0.575	0.537								
	BATATA	0.974	0.872	0.831	0.790	0.785	0.640	0.462	BATATA	3.425	10.337	13.416	17.874	15.063	31.895	32.614
	FEIJÃO	0.984	0.925	0.899	0.849	0.831	0.708	0.531	FEIJÃO	1.263	6.056	8.196	12.626	11.573	24.368	28.193
	TRIGO	0.981	0.911	0.880	0.831	0.816	0.686	0.506	TRIGO	1.742	7.177	9.638	14.168	12.571	26.627	29.675
113	ÁGUA	0.868	0.804	0.782	0.719	0.725	0.541	0.491								
	BATATA	0.956	0.843	0.816	0.736	0.776	0.602	0.430	BATATA	5.067	12.245	14.771	18.999	17.205	33.989	34.808
	FEIJÃO	0.975	0.887	0.870	0.839	0.825	0.677	0.498	FEIJÃO	2.318	8.424	10.280	13.772	13.046	26.239	30.282
	TRIGO	0.970	0.873	0.854	0.822	0.811	0.652	0.474	TRIGO	2.962	9.556	11.549	15.352	14.222	28.600	31.734
112	ÁGUA	0.957	0.864	0.852	0.817	0.758	0.607	0.514								
	BATATA	0.994	0.956	0.929	0.893	0.831	0.433	0.323	BATATA	0.700	5.149	6.947	10.242	16.352	36.663	41.630
	FEIJÃO	0.991	0.974	0.958	0.936	0.895	0.593	0.436	FEIJÃO	0.000	2.739	3.968	6.112	10.458	28.181	35.443
	TRIGO	0.992	0.969	0.950	0.925	0.876	0.539	0.396	TRIGO	0.000	3.333	4.732	7.204	12.078	31.067	37.497
132	ÁGUA	0.877	0.824	0.856	0.814	0.828	0.724	0.606								
	BATATA	0.971	0.939	0.924	0.893	0.931	0.707	0.610	BATATA	3.964	7.953	6.702	10.287	8.334	23.574	32.586
	FEIJÃO	0.982	0.962	0.955	0.936	0.959	0.834	0.693	FEIJÃO	1.591	4.542	3.838	6.161	5.022	14.727	24.961
	TRIGO	0.979	0.957	0.947	0.925	0.951	0.801	0.668	TRIGO	2.127	5.419	4.752	7.256	5.900	17.167	27.229
142	ÁGUA	0.851	0.780	0.844	0.771	0.804	0.698	0.581								
	BATATA	0.948	0.902	0.882	0.842	0.860	0.744	0.497	BATATA	6.051	12.270	9.416	15.154	12.049	24.673	39.726
	FEIJÃO	0.969	0.942	0.931	0.908	0.902	0.856	0.608	FEIJÃO	2.811	7.221	5.514	9.204	8.270	15.380	30.810
	TRIGO	0.964	0.932	0.918	0.890	0.891	0.828	0.596	TRIGO	3.578	8.550	6.534	10.803	9.286	17.932	33.778
152	ÁGUA	0.850	0.782	0.827	0.770	0.777	0.661	0.538								
	BATATA	0.946	0.895	0.870	0.817	0.884	0.615	0.464	BATATA	6.135	12.318	10.728	15.943	13.146	31.671	42.311
	FEIJÃO	0.969	0.938	0.923	0.893	0.922	0.788	0.575	FEIJÃO	3.082	7.321	6.399	9.749	8.714	20.133	33.124
	TRIGO	0.964	0.927	0.909	0.873	0.911	0.743	0.538	TRIGO	3.755	8.643	7.544	11.422	9.945	23.412	36.060
153	ÁGUA	0.616	0.748	0.776	0.742	0.712	0.603	0.474								
	BATATA	0.921	0.814	0.797	0.720	0.768	0.567	0.448	BATATA	9.154	17.742	16.441	21.490	22.411	36.536	45.579
	FEIJÃO	0.954	0.893	0.882	0.830	0.858	0.676	0.597	FEIJÃO	4.693	10.641	10.009	13.821	14.545	26.267	34.786
	TRIGO	0.945	0.873	0.859	0.798	0.832	0.628	0.554	TRIGO	5.790	12.530	11.769	16.119	16.810	29.369	38.119
154	ÁGUA	0.825	0.767	0.790	0.765	0.750	0.659	0.532								
	BATATA	0.932	0.832	0.820	0.784	0.817	0.614	0.621	BATATA	8.203	15.833	14.473	17.501	17.386	28.700	35.686
	FEIJÃO	0.960	0.902	0.892	0.855	0.877	0.737	0.692	FEIJÃO	4.310	9.543	8.940	11.944	11.820	20.701	27.226
	TRIGO	0.953	0.884	0.872	0.834	0.866	0.702	0.673	TRIGO	5.275	11.226	10.498	13.568	13.398	23.033	29.699
151	ÁGUA	0.861	0.768	0.840	0.784	0.754	0.675	0.558								
	BATATA	0.948	0.897	0.891	0.827	0.819	0.692	0.470	BATATA	5.666	13.398	9.185	14.647	16.772	28.089	42.474
	FEIJÃO	0.969	0.939	0.935	0.898	0.879	0.824	0.591	FEIJÃO	2.657	7.979	5.403	8.957	11.329	17.963	32.797
	TRIGO	0.964	0.928	0.924	0.879	0.863	0.789	0.543	TRIGO	3.370	9.416	6.394	10.506	12.831	20.813	36.161

Tabela 20. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen da lâmina de água e da produção das culturas (esquerda) e porcentagem de queda de produção das culturas (direita), nos espaçamentos considerados entre aspersores.

CODIGO DO ENSAIO	COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN								QUEDA DE PRODUTIVIDADE (%)							
	ESPACAMENTO (m)								ESPACAMENTO (m)							
	6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24		6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24	
322	AGUA	0.941	0.932	0.887	0.803	0.755	0.539	0.430								
	BATATA	0.991	0.988	0.962	0.911	0.796	0.454	0.281	BATATA	1.061	1.424	3.868	10.297	18.086	42.861	46.699
	FEIJAO	0.987	0.993	0.978	0.948	0.882	0.594	0.400	FEIJAO	0.000	0.215	1.886	6.033	11.116	32.790	39.401
	TRIGO	0.989	0.992	0.974	0.938	0.859	0.550	0.359	TRIGO	0.000	0.453	2.355	7.150	13.014	35.935	41.815
324	AGUA	0.914	0.877	0.832	0.743	0.679	0.495	0.376								
	BATATA	0.986	0.966	0.933	0.821	0.700	0.420	0.306	BATATA	2.006	4.174	7.758	18.130	25.812	44.850	49.161
	FEIJAO	0.987	0.981	0.961	0.897	0.788	0.582	0.459	FEIJAO	0.000	1.943	4.336	10.987	18.256	34.136	39.643
	TRIGO	0.988	0.977	0.953	0.877	0.761	0.535	0.413	TRIGO	0.333	2.465	5.206	12.910	20.527	37.420	42.622
321	AGUA	0.952	0.941	0.928	0.873	0.841	0.589	0.498								
	BATATA	0.993	0.990	0.984	0.963	0.912	0.536	0.196	BATATA	0.794	1.148	1.715	4.459	8.111	38.852	47.975
	FEIJAO	0.986	0.993	0.991	0.978	0.947	0.698	0.368	FEIJAO	0.000	0.000	0.474	2.301	4.764	27.344	40.377
	TRIGO	0.988	0.993	0.990	0.974	0.938	0.648	0.500	TRIGO	0.000	0.197	0.730	2.824	5.638	30.969	42.856
311	AGUA	0.921	0.908	0.874	0.730	0.677	0.412	0.206								
	BATATA	0.979	0.951	0.953	0.834	0.621	0.069	0.191	BATATA	2.153	3.856	4.878	18.978	29.374	57.447	69.201
	FEIJAO	0.987	0.973	0.973	0.905	0.767	0.201	-0.043	FEIJAO	0.032	1.746	2.520	11.517	19.770	50.298	62.807
	TRIGO	0.987	0.968	0.968	0.886	0.727	0.157	-0.980	TRIGO	0.449	2.235	3.094	13.525	22.556	52.660	65.049
331	AGUA	0.968	0.951	0.916	0.881	0.906	0.683	0.630								
	BATATA	0.997	0.995	0.971	0.965	0.976	0.748	0.504	BATATA	0.393	0.737	2.586	4.040	2.679	25.684	31.853
	FEIJAO	0.986	0.993	0.984	0.979	0.986	0.850	0.584	FEIJAO	0.000	0.000	1.031	2.041	1.334	16.547	26.502
	TRIGO	0.989	0.994	0.981	0.976	0.983	0.823	0.556	TRIGO	0.000	0.000	1.376	2.521	1.649	19.125	28.212
341	AGUA	0.911	0.846	0.885	0.886	0.822	0.780	0.682								
	BATATA	0.977	0.955	0.975	0.952	0.933	0.786	0.698	BATATA	2.469	6.084	3.429	4.339	8.413	16.455	25.116
	FEIJAO	0.986	0.973	0.985	0.972	0.959	0.865	0.763	FEIJAO	0.150	3.113	1.571	2.237	4.962	10.578	19.008
	TRIGO	0.985	0.968	0.982	0.967	0.952	0.843	0.742	TRIGO	0.611	3.838	2.001	2.764	5.865	12.335	20.914
334	AGUA	0.942	0.929	0.898	0.838	0.822	0.601	0.536								
	BATATA	0.991	0.989	0.962	0.932	0.880	0.560	0.390	BATATA	1.063	1.461	3.565	7.439	10.615	35.543	38.044
	FEIJAO	0.989	0.993	0.978	0.959	0.929	0.675	0.485	FEIJAO	0.000	0.311	1.752	4.276	6.407	26.574	32.294
	TRIGO	0.991	0.992	0.975	0.952	0.916	0.638	0.453	TRIGO	0.000	0.541	2.181	5.091	7.529	29.383	34.189
314	AGUA	0.884	0.832	0.767	0.660	0.585	0.407	0.269								
	BATATA	0.976	0.943	0.866	0.682	0.608	0.296	0.223	BATATA	3.451	7.347	14.465	28.897	33.449	51.018	56.426
	FEIJAO	0.984	0.966	0.923	0.807	0.695	0.504	0.384	FEIJAO	0.965	4.008	8.624	18.915	25.608	39.549	45.800
	TRIGO	0.982	0.960	0.908	0.767	0.672	0.444	0.325	TRIGO	1.496	4.848	10.175	22.037	27.813	43.164	49.380
344	AGUA	0.877	0.828	0.834	0.798	0.779	0.658	0.575								
	BATATA	0.972	0.941	0.930	0.880	0.840	0.641	0.598	BATATA	3.933	7.792	7.652	11.599	14.757	28.385	31.083
	FEIJAO	0.982	0.964	0.960	0.930	0.907	0.728	0.663	FEIJAO	1.210	4.260	4.293	6.870	9.002	21.648	24.802
	TRIGO	0.980	0.956	0.952	0.917	0.890	0.703	0.644	TRIGO	1.800	5.149	5.149	8.118	10.552	23.625	26.649
343	AGUA	0.916	0.862	0.885	0.855	0.827	0.704	0.617								
	BATATA	0.979	0.967	0.958	0.934	0.922	0.677	0.605	BATATA	2.261	4.816	4.143	6.672	8.572	25.518	29.662
	FEIJAO	0.987	0.979	0.976	0.961	0.954	0.791	0.668	FEIJAO	0.198	2.401	2.094	3.771	5.102	17.536	23.779
	TRIGO	0.986	0.976	0.972	0.954	0.945	0.755	0.647	TRIGO	0.609	2.981	2.586	4.510	6.016	20.100	25.568

4.6.3. Fatores estudados e CUC

Para visualizar os resultados obtidos, montaram-se uma série de gráficos que relacionam os fatores estudados (pressão, tempo de rotação e tensão da mola) com o CUC, nestes gráficos (anexo 1) procurou-se fixar dois fatores, enquanto o terceiro variava. Nas figuras 23 a 26, fixaram-se o tempo de rotação e a tensão da mola, variando-se a pressão; nas figuras 27 a 29 fixaram-se a pressão de serviço e a tensão da mola, variando-se o tempo de rotação dos aspersores e nas figuras 30 a 32 fixaram-se a pressão e o tempo de rotação, variando-se o nível de tensão da mola.

Com os dos valores de CUC (água) dos 60 ensaios realizados para os sete espaçamentos considerados, efetuou-se um estudo estatístico preliminar.

Inicialmente, dentro de cada espaçamento considerado, verificou-se que os dados obtidos seguiam um modelo de distribuição normal e que havia uma homogeneidade de variância, o que possibilitou a aplicação de uma análise de variância (teste F) no ensaio fatorial realizado.

Na tabela 21, observa-se os resultados obtidos da análise de variância conjunta para todos os espaçamentos considerados; por esta análise conclui-se que todos os fatores considerados (pressão, velocidade de rotação, tensão da mola e espaçamento entre aspersores), assim como as interações duplas entre estes fatores, foram significativos a nível de 1% de probabilidade.

Tabela 21. Resultados da análise de variância conjunta para todos os espaçamentos estudados (teste F).

CAUSAS DA VARIACAO	S.L.	S.Q.	Q.M.	VALOR F	PROB. > F
ESPAC	6	6.4412705	1.0735451	764.3200	0.00001
PRESSAO	2	0.3045018	0.1522509	109.3764	0.00001
VELOCID	4	0.5109479	0.1277370	90.9435	0.00001
TENSAO	3	0.4408170	0.1469390	104.6145	0.00001
ESP*PRE	12	0.0553821	0.0046152	3.2854	0.00031
ESP*VEL	24	0.6855299	0.0285637	20.3362	0.00001
ESP*TEN	18	0.0546257	0.0030348	2.1606	0.00459
PRE*VEL	8	0.0502703	0.0062833	4.4738	0.00011
PRE*TEN	6	0.0538148	0.0089871	6.3857	0.00002
VEL*TEN	12	0.1786696	0.0165559	11.7870	0.00001
RESIDUO	224	0.4350824	0.0014046		
TOTAL	419	9.2509119			

MEDIA GERAL = 0.754014

COEFICIENTE DE VARIACAO = 4.970 %

Realizou-se uma análise multifatorial de variância com a utilização do software Statgraphics (Statistical Graphics System), pelo método do intervalo de confiança a 95% de probabilidade, para simplificar a compreensão dos resultados obtidos.

Na tabela 22, encontram-se os resultados obtidos, na análise multifatorial de variância, para os diversos CUC obtidos nos sete espaçamentos entre aspersores, em função das pressões, tempos de rotação e tensões da mola considerados; os valores de CUC apresentados, são médias dos ensaios realizados, dentro de cada nível de fator analisado, dispostos de maneira crescente, para cada espaçamento considerado. Ao lado direito de cada grupo de

fator estudado, encontram-se asteriscos que quando alinhados indicam valores de médias semelhantes estatisticamente, pelo método do intervalo de confiança a 95% de probabilidade; analisando os resultados destacam-se os seguintes aspectos:

a) Pressão de serviço x CUC

Nos espaçamentos reduzidos (6 x 12 e 12 x 12 m), a pressão de 40 mca foi melhor em termos estatísticos, embora numericamente isto seja pouco evidente: CUC médios de 0,865, 0,897 e 0,920 para 20, 30 e 40 mca de pressão respectivamente.

Nos espaçamentos intermediários (12 x 15 e 12 x 18 m), as pressões de 30 e 40 mca tiveram o mesmo desempenho, apresentando valores médios de CUC de 0,85 e 0,88 respectivamente.

Os efeitos da pressão, estão dentro dos limites propostos por CHRISTIANSEN (1942), com relação à pressão de operação dos aspersores, constata-se que pressões maiores (40 mca) ocasionam maior pulverização do jato de água formando gotas de pequenos diâmetros, as quais apresentam menor energia cinética e um atrito com o ar proporcionalmente maior, resultam um alcance final reduzido. Para espaçamentos maiores (12 x 18 e 18 x 18) entre aspersores, uma maior concentração de água próxima ao aspersor, induz menores valores CUC. Por outro lado, pressões menores

(20 mca) fazem com que o jato emergente do bocal do aspersor se mantenha mais íntegro, resultando gotas de maior diâmetro, as quais apresentando maior energia cinética e menor atrito com o ar (proporcionalmente), alcançam maiores distâncias; isto justifica os valores de CUC de 0,738, 0,581 e 0,497 na pressão de 20 mca para os espaçamentos de 18 x 18 , 18 x 24 e 24 x 24, respectivamente, os quais não diferiram estatisticamente dos CUC obtidos nas pressões de 30 e 40 mca.

b) Tempo de rotação x CUC

Para os espaçamentos entre aspersores de 6 x 12 e 12 x 12 m e tempos de uma rotação de 7 , 15 e 30 segundos, obteve-se valores médios de CUC semelhantes em torno de 0,9. Já para o espaçamento 12 x 15 m, todos os tempos de rotação apresentaram valores de CUC próximos a 0,84 e foram semelhantes. No espaçamento 12 x 18 m com exceção ao tempo de 7 segundos, os demais valores de tempo de rotação apresentaram CUC semelhantes; no espaçamento de 18 x 18 m os tempos de 7 e 15 segundos prejudicaram os valores de CUC e nos espaçamentos de 18 x 24 e 24 x 24 m, somente os maiores tempos de rotação 60 e 90 segundos contribuíram para melhores valores de CUC . Resumindo, pode-se dizer que os tempos de rotação de 7 , 15 e 30 segundos, resultaram melhores desempenhos em espaçamento menores, enquanto que os tempos de rotação de 60 e 90 segundos resulta-

ram melhores CUC em espaçamentos superiores.

Os resultados obtidos, comprovam a influência da velocidade de rotação na uniformidade de aplicação de água em um sistema por aspersão, observa-se que velocidades elevadas de rotação são prejudiciais aos CUC em espaçamentos superiores, sendo o oposto observado nos espaçamentos reduzidos. Não há dúvida que quanto maior a velocidade de rotação, maior será o desgaste dos mecanismos envolvidos no movimento de rotação do aspersor, por outro lado, uma velocidade baixa de rotação ocasiona uma velocidade angular de rotação inconstante, fato constatado visualmente durante alguns ensaios, o que poderá afetar sensivelmente a distribuição de água no campo. Pelos resultados e experiência adquirida, pode-se afirmar que o tempo ideal de uma rotação, está entre 30 e 60 segundos, para os aspersores MD 20 A.

c) Tensão da mola do aspersor x CUC

Estatisticamente, em todos os espaçamentos analisados, os CUC foram semelhantes para os níveis de tensão 0, 1 e 4, sendo que para o nível 8 os valores de CUC foram sempre inferiores. Um fato curioso de ser observado, é de que as médias dos níveis de tensão 1 foram sempre superiores às médias dos níveis de tensão 0, que por sua vez foram sempre maiores do que a médias dos níveis de tensão 4 em todos os espaçamentos analisados, embora estatisticamente não exista diferença significativa, isto indica que é bom

TABELA 22. Análise Multifatorial de Variância (Método do Intervalo de Confiança a 95% de Probabilidade), dos Valores Médios de Coeficiente de Uniformidade de Christiansen, dentro de cada nível de fator estudado (Pressão, Tempo de Rotação e Tensão da mola).

		ESPACAMENTO (m)												
		6x12		12x12		12x15		12x18		18x18		18x24		24x24
PRESSAO (mca)	40	0.920	40	0.884	40	0.873	40	0.822	30	0.782	30	0.648	30	0.553
	30	0.897	30	0.850	30	0.851	30	0.813	40	0.777	40	0.619	40	0.528
	20	0.865	20	0.798	20	0.791	20	0.738	20	0.738	20	0.581	20	0.497
TEMPO DE ROTACAO (seg)	15	0.915	30	0.879	30	0.853	90	0.819	30	0.818	60	0.701	90	0.612
	30	0.911	15	0.874	60	0.848	60	0.810	60	0.805	90	0.696	60	0.597
	7	0.894	7	0.843	15	0.838	30	0.805	90	0.768	30	0.625	30	0.576
	60	0.877	60	0.822	90	0.835	15	0.784	15	0.755	15	0.566	15	0.491
	90	0.870	90	0.805	7	0.819	7	0.735	7	0.682	7	0.492	7	0.359
TENSAO DA MOLA	1	0.908	1	0.862	1	0.869	1	0.824	1	0.798	1	0.659	4	0.567
	0	0.906	0	0.856	0	0.857	0	0.819	0	0.790	4	0.637	1	0.545
	4	0.891	4	0.845	4	0.838	4	0.790	4	0.778	0	0.623	8	0.538
	8	0.870	8	0.812	8	0.790	8	0.730	8	0.696	8	0.545	0	0.454

para a distribuição de água do aspersor a ação do defletor-martelo dentro de limites razoáveis.

O nível de tensão 8, sempre apresentou valores de CUC menores e estatisticamente diferentes, o que permite afirmar que tensões excessivamente elevadas da mola são prejudiciais ao bom desempenho dos aspersores, promovendo também um maior desgaste dos mecanismos envolvidos. Este desempenho inferior da tensão 8, está relacionado com a maior porcentagem de água desviada para próximo do aspersor, ocorrendo também uma maior pulverização do jato no momento do impacto com o defletor-martelo (gotas menores).

4.6.4. Fatores estudados e porcentagem de queda na produção potencial da batata.

A porcentagem de queda na produção da batata, pode ser visualizada nos gráficos construídos (anexo 1), onde procurou-se fixaram-se dois fatores enquanto o terceiro variava. Nas figuras 33 a 36, fixaram o tempo de rotação e a tensão da mola, variando-se a pressão; nas figuras 37 a 39 fixaram-se a pressão de serviço e a tensão da mola, variando-se o tempo de rotação dos aspersores e nas figuras 40 a 42 fixaram-se a pressão e o tempo de rotação, variando-se o nível de tensão da mola.

Devido à complexidade das interações ocorridas, observadas através do exame metuculoso dos gráficos mencionados, foi necessário a realização de uma análise multifatorial de variância, pelo método do intervalo de confiança a 95% de probabilidade, para tornar compreensível os resultados obtidos.

Na tabela 23, encontram-se os resultados obtidos, da análise multifatorial de variância, para as diversas porcentagens de queda de produção da batata nos sete espaçamentos entre aspersores, em função das pressões, tempos de rotação e tensões da mola considerados. Os valores de porcentagem de queda de produção da batata apresentados, são as médias de todos os ensaios dentro de cada nível de fator considerado, dispostas em ordem crescente, para cada

TABELA 23. Análise Multifatorial de Variância (Método do Intervalo de Confiança a 95% de Probabilidade), dos Valores Médios de Porcentagem de Redução na Produção da Batata , dentro de cada nível de fator estudado (Pressão, Tempo de Rotação e Tensão da Mola) .

		ESPACAMENTO (m)												
		6x12	12x12	12x15	12x18	18x18	18x24	24x24						
PRESSAO (mca)	40	2.024	40	4.200	40	4.906	40	9.573	30	13.896	30	29.749	30	35.755
	30	3.043	30	6.708	30	6.873	30	10.592	40	14.927	40	33.315	40	38.770
	20	5.511	20	12.395	20	14.011	20	18.876	20	18.281	20	34.031	20	41.096
TEMPO DE ROTACAO (seg)	15	2.141	15	5.377	30	7.679	90	10.361	30	10.890	60	24.879	90	32.164
	30	2.362	30	5.514	60	8.171	60	11.669	60	11.271	90	25.283	60	32.451
	7	3.813	7	8.388	90	8.391	30	11.819	90	15.071	30	29.731	30	33.954
	60	4.434	60	9.015	15	8.479	15	13.374	15	17.295	15	37.182	15	40.913
	90	4.881	90	10.544	7	10.262	7	17.816	7	23.979	7	44.751	7	53.174
TENSAO DA MOLA	1	2.691	1	5.749	1	5.465	1	9.147	1	12.545	1	29.812	4	35.769
	0	3.007	0	6.849	0	7.062	0	10.485	0	13.664	0	30.857	1	36.355
	4	3.594	4	7.671	4	8.770	4	13.171	4	14.576	4	31.813	8	40.566
	8	4.821	8	10.803	8	13.089	8	19.253	8	22.019	8	36.979	0	41.471

espaçamento analisado. Ao lado direito de cada grupo de fator estudado, encontram-se asterísticos que quando alinhados, indicam valores de média estatisticamente semelhantes pelo método do intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

Os resultados obtidos, foram na maior parte semelhantes aos observados com relação aos CUC, pequenas diferenças constatadas devem-se à influência que a função de produção, exerce sobre as lâminas de água da grade de sobreposição dos aspersores.

Uma diferença observada, foi que em espaçamentos de 6 x 12 e 12 x 12 m nas pressões de 30 e 40 mca não houve diferença estatística nos valores obtidos de porcentagem de queda de produção da batata; em um projeto de irrigação, seria conveniente utilizar a pressão de 30 mca o que diminuiria os custos de operação do sistema sem prejuízo na produção da cultura.

Na tabela (24), analisou-se o comportamento do aspersor 2 no espaçamento de 12 x 18 m para todas as combinações estudadas de pressão, tempo de rotação e tensão da mola.

Observa-se que a medida que a pressão diminui, aumentou-se a influência da velocidade de rotação e da tensão da mola na queda de produção da batata, constata-se uma acentuada influência dos níveis de tensão 8 e 4 da mola, pois os maiores valores de porcentagem de queda na

produção da batata estão na maioria das vezes associados com estes valores de tensão. Com relação aos tempos de rotação, nota-se uma relativa influência dos tempos de 7 e 15 segundos, nos maiores valores de porcentagem de queda na produção da batata.

Por outro lado observou-se para os níveis de tensão 0 e 1 e de tempo de rotação de 30, 60 e 90 segundos, a menor interferência na produção da batata. Como o nível de tensão 0 não é aplicado na prática, conclui-se mais uma vez, que o nível 1 de tensão da mola e a velocidade de rotação entre 30 e 60 segundos são os ideais para o aspersor Dantas MD 20 A no espaçamento 12 x 18 m.

Com relação aos demais espaçamentos, observa-se pelas médias da tabela (23), que quanto maior for o espaçamento, maior será a influência da tensão da mola e do tempo de rotação do aspersor na produção da batata.

Um outro aspecto a ser discutido é o espaçamento e regulagens econômicas entre aspersores; sabe-se que quanto maior for o espaçamento, menor será o custo de aquisição dos equipamentos e menor o custo de operação dos sistemas, por outro lado a produção da cultura também descreve, existindo um ponto ótimo econômico para cada situação de acordo com o trabalho de CHEN & WALLENDER (1984), que pode ser determinado através de uma análise econômica, o que não foi objetivo deste trabalho.

Tabela 24. Porcentagem de queda na produção da batata, para as diversas combinações de pressão, tensão da mola e velocidade de rotação, do aspersor Dantas MD 20 A bocal de 4,4 x 2,5 mm, no espaçamento de 12 x 18 m.

Pressão 20 mca			Pressão 30 mca			Pressão 40 mca		
TR	TM	PQB	TR	TM	PQB	TR	TM	PQB
7	8	41,390	7	8	22,518	7	8	28,897
30	8	26,350	15	8	21,000	7	0	18,978
15	8	25,390	30	8	18,218	15	8	18,130
30	0	22,264	7	4	15,037	15	4	14,164
60	8	22,174	60	8	12,921	7	4	12,412
60	4	21,704	15	4	11,680	60	8	11,599
90	4	21,490	7	0	11,183	7	1	11,579
60	0	19,581	7	1	10,398	15	1	10,247
30	4	19,458	30	4	10,198	90	0	7,466
7	4	18,444	60	4	9,427	30	8	7,434
15	4	17,874	90	8	8,59	90	8	6,688
90	8	17,501	90	4	8,49	60	4	6,672
90	1	15,943	90	1	8,199	30	4	5,804
60	1	15,154	30	0	7,414	90	1	5,347
90	0	14,647	15	1	7,110	30	1	4,758
15	0	13,018	60	0	6,490	15	0	4,459
7	0	12,160	30	1	5,450	60	0	4,339
15	1	11,900	60	1	5,780	60	1	4,195
30	1	10,287	90	0	5,767	90	4	4,157
7	1	10,242	15	0	5,46	30	0	4,040

Onde: TR = Tempo de uma rotação (segundos)

TM = Tensão da Mola

PQB = Porcentagem de queda na produção da batata.

Todos os dados apresentados, dizem respeito ao bocal intermediário de 4,4 x 2,5 mm de diâmetro; é de se esperar que para o bocal de 3,1 x 2,5 mm de diâmetro de acordo com os resultados do ensaio do volume de água desviado pelo defletor-martelo, a influência da velocidade de rotação e da tensão da mola sejam muito mais acentuadas na distribuição espacial de água.

4.6.5. CUC e porcentagem de queda na produção das culturas (batata, feijão e trigo)

Com os resultados apresentados nas tabelas 15 a 20, efetuaram-se várias comparações entre os CUC das lâminas de água aplicada e a porcentagem de redução na produção das culturas de batata, feijão e trigo. Nas figuras 43 a 49 observaram-se as correlações existentes entre os dois índices para os diversos espaçamentos entre aspersores, na figura 50, estão relacionados os resultados de porcentagem de queda de produção da batata e os valores de CUC para todos os ensaios realizados.

Na análise das figuras mencionadas, observa-se os seguintes aspectos:

- 1o. A cultura da batata é mais sensível aos valores de CUC do que as culturas do trigo e feijão; uma vez que esta cultura responde muito à aplicação de insumos tais como a água e fertilizantes e sendo

assim, qualquer variação na uniformidade de aplicação de água têm um efeito maior na produção final.

Figura 50. Relação entre os valores de CUC e a queda da produção da batata nos sessenta ensaios realizados.

- 2o. Para valores de CUC superiores à 0,80 existe uma variabilidade pequena em termos de queda de produção, das culturas.
- 3o. Para valores de CUC inferiores à 0,80 existe uma maior variabilidade em queda de produção (um mesmo mesmo valor de CUC pode apresentar diferentes valores de queda de produção).

4o. A porcentagem de queda de produção da batata nos limites de CUC , entre 85 e 60% pode ser expressa pela seguinte expressão:

$$\% \text{ queda produção} = 90 - \text{CUC} \% \dots\dots\dots(32)$$

5. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos nos ensaios dos aspersores MD 20 A e de acordo com a metodologia empregada na obtenção dos coeficientes de uniformidade e simulação de produção das culturas, conclui-se que:

- 1o. A pressão de operação dos aspersores interfere na distribuição de água e na produtividades das culturas. Em espaçamentos entre aspersores reduzidos (6 x 12 e 12 x 12 m), as pressões maiores (30 e 40 mca) apresentam melhores CUC ; em espaçamentos maiores (12 x 18 e 18 x 18 m) as pressões 20 , 30 e 40 mca não diferem significativamente quanto aos valores de CUC apresentados.
- 2o. A velocidade de rotação do aspersor Dantas MD 20 A influencia a distribuição espacial de água e a produtividade das culturas, sendo que a velocidade

ideal depende do espaçamento entre aspersores. Em espaçamentos reduzidos (6 x 12 m), uma maior velocidade de rotação (1 rotação entre 7 - 30 segundos) é favorável; em espaçamentos intermediários (12 x 15 m), a velocidade de rotação (7 - 90 segundos) não interfere significativamente, já em espaçamentos maiores (18 x 18 m) o ideal é uma velocidade de rotação menor (30 - 90 segundos).

- 3o. O nível de tensão da mola do defletor-martelo, altera significativamente o volume de água desviado do jato principal, que poderá atingir valores entre 4 a 40% do volume total; este desvio acentuado interfere na distribuição espacial de água e na produtividade das culturas. Estatisticamente, somente tensões maiores do que o nível 4 são prejudiciais.
- 4o. O defletor-martelo, absorve de 35 a 55% da energia da água proveniente do bocal principal, o que depende da pressão de operação, do diâmetro do bocal e do nível de tensão da mola do defletor-martelo.
- 5o. Um único valor de Coeficiente de Uniformidade Christiansen (CUC), pode representar duas ou mais distribuições espaciais diferentes de água, resultando em diferentes produtividades de uma mesma

cultura. Observa-se uma maior amplitude de variação na produtividade das culturas submetidas à CUC abaixo de 80%.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Aspersores para irrigação/avaliação da distribuição de água. NBR 8989. São Paulo, ABNT, 1985. 9p.
- AZEVEDO NETO, J.M. Manual de hidráulica. 6. ed. São Paulo, Edgard Blucher, 1973, 2v.
- BEALE, J.G. & HOWELL, D.T. Relationships among sprinkler uniformity measures. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE, Ann Arbor, 92(1):41-48, 1966.
- BEAN, A.G.M. Water distribution by irrigation sprinklers. Journal of Agricultural Engineering Research, Cambridge-UK, 10: 314-321, 1965.
- BENAMI, A. & Hore, F.R. A new irrigation sprinkler distribution coefficient. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 7(2): 157-158, 1964.

- BERNUTH, R.D. e GILLEY, J.R. Sprinkler droplet size distribution estimation from single leg test Data. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 27 (5): 1435-1441, 1984.
- BILANSKI, W.K. & KIDDER, E.H. Factors that affect the distribution of water from a medium - pressure rotary irrigation sprinkler. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 1 (1): 19-28, 1958.
- BRANSCHIED,V.O. & HART, W.E. Predicting field distributions of sprinkler systems. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 11 (6): 801-808, 1968.
- CHEN, D. & WALLENDER W.W. Economic sprinkler selection, spacing and orientation. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 27 (3): 737-743, 1984.
- CHRISTIANSEN, J.E. Irrigation by sprinkling. Berkeley, Univ. of California Experiment Station. Bulletin 670, 1942, 124p.
- COGELS, O.G. An Irrigation system uniformity function relating the effective uniformity of water application to the scale of influence of the plant root zones. Irrigation Science, New York, 4: 289-299, 1983.

COLOMBO, A.; MARTUCCI, G.; SCALOPPI, E.J. Espaçamento entre coletores em estudos de distribuição de água de aspersores. In: XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Resumos, Rio de Janeiro, 1983.

DAVIS, J.R. Measuring water distribution from sprinklers. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 9 (1): 94-97, 1966.

DUARTE, S.N. Efeitos do horário e da lâmina de irrigação na cultura da batata (Solanum tuberosum L.). Piracicaba, 1989, 148p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

FARIA, R.T. Estudo da lâmina de irrigação na cultura do trigo (Triticum aestivum L.), utilizando o sistema de "aspersão em linha". Piracicaba, 1981, 71p. (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

FISCHER, G.R. & WALLENDER, W.W. Collector size and test duration effects on sprinkler water distribution measurement. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 31(2): 538-542, 1988.

FRIZZONE, J.A. Funções de resposta do feijoeiro (Phaseolus vulgaris L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação. Piracicaba, 1986, 133p. (Doutorado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP).

- FROST, K.R. Factors affecting evapotranspiration losses during sprinkling. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 6 (4): 282-283, 287, 1963.
- GRIFFIN, S.G. Computer programming solid set systems. ASAE paper No. 78-2012, St. Joseph, ASAE, 1978.
- HART, W.E. Overhead irrigation pattern parameters. Agricultural Engineering. St. Joseph, 42 (7): 354-355, 1961.
- HART, W.E. & REYNOLDS, W.N. Analytical desing of sprinkler systems. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 9 (1): 83-85, 89, 1965.
- HART, W.E. Subsurface distribution of nonuniformly applied surface waters. Transactions of the ASAE. St. Joseph, 15 (4): 656-661, 666, 1972.
- HILL, R.W. e KELLER, J. Irrigation selection for maximum crop profit. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 23 (2): 366-372, 1980.
- KELLER J., KARMELI D. Trickle Irrigation Desing. Rain Bird Sprinkler Manufacturing Co, Glendora, CA 182p, 1974.

KOHL, R.A. Drop size distribution from medium-sized agricultural sprinklers, Transactions of the ASAE, St. Joseph, 15 (2): 690-693, 1974.

KRUSE, E.G. Describing irrigation efficiency and uniformity. Journal Irrigation Drainage Division ASCE, Ann Arbor, 104 (IR1): 35-41, 1978.

LEVINE, G. Effects of irrigation droplet size on infiltration and aggregate breakdown. Agricultural Engineering, St. Joseph, 33 (9): 559-560, 1952.

MAREK, T.H.; SCHNEIDER, A.D.; BAKER, S.M.; POPHAN T.W. Accuracy of three sprinklers collectors. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 28 (4): 1191-1195, 1985.

PAIVA, J.B.D. Uniformidade de aplicação de água, abaixo da superfície do solo, utilizando irrigação por aspersão. São Carlos, 1980, 333p. (Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos/USP).

PERRENS, S.J. Numerical analysis of soil water uniformity under sprinkler irrigation. Journal Agricultural Engineering Research, Cambridge, U.K., 30:23-27, 1984.

- RAO, N.H.; SARMA, P.B.S.; CHANDER, S. A simple dated water production function for use in irrigated agriculture. Agricultural Water Management, Netherlands, 13:25-32, 1988.
- SEGINER, I. Tangencial velocity of sprinkler drops. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 8 (1): 90-93, 1965.
- SEGINER, I. A note on the economic significance of uniform water application. Irrigation Science, New York, 1: 19-25, 1978.
- SEGINER, I. Irrigation uniformity related to horizontal extent of root zone. Irrigation Science, New York, 1: 89-96, 1979.
- SINAI, G. & ZALASUSKY, D. Factors affecting water distribution after uniform irrigation. Paper No. 77-2573, ASAE, St. Joseph, 1977.
- SOARES, A.A. A computer model do study the influence of the sprinkler riser angle, nozzle angle and soil surface slope on the uniformity of distribution. Logan-USA, 1986, 148p. (PhD Thesis, Utah State University).

SOLOMON, K. Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 22 (5): 1078-1080, 1086, 1979.

SOLOMON, K.H. Yield related interpretations of irrigation uniformity and efficiency measurements. Irrigation Science, New York, 5: 161-172, 1984.

WARRICK, A.W. & GARDNER, W.R. Crop yield as affected by spatial variations of soil and irrigation. Water Resources Research, Washington, 19 (1): 181-186, 1983.

WILCOX, J.C. & SWAILES, G.E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. Scientific Agriculture, 27 (11):565-383, 1947.

A N E X O - 1

Figura 23. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço.

Figura 24. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço.

Figura 25. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço.

Figura 26. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço

Figura 27. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível de tensão da mola, variando-se o tempo de rotação do aspersor.

Figura 28. Coeficientes de uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível de tensão da mola, variando-se o tempo de rotação do aspersor.

Figura 29. Coeficientes de uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível de tensão da mola, variando-se o tempo de rotação do aspersor.

Figura 30. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola.

Figura 31. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola.

Figura 32. Coeficientes de Uniformidade de Christiansen em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola.

Figura 33. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço.

Figura 34. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço.

Figura 35. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço.

Figura 36. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e o nível de tensão da mola, variando-se a pressão de serviço.

Figura 37. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível da mola, variando-se o tempo de rotação do aspersor.

Figura 38. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível da mola, variando-se o tempo de rotação do aspersor.

Figura 39. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se a pressão de serviço e o nível da mola, variando-se o tempo de rotação do aspersor.

Figura 40. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola.

Figura 41. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola.

Figura 42. Porcentagem de queda na produção da batata em função dos espaçamentos considerados entre aspersores, fixando-se o tempo de rotação e a pressão de serviço, variando-se o nível de tensão da mola.

Figura 43. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 6 x 12 m.

Figura 44. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 12 x 12 m.

Figura 45. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 12 x 15 m.

Figura 46. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 12 x 18 m.

Figura 47. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 18 x 18 m.

Figura 48. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 18 x 24 m.

Figura 49. Relação entre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen e a porcentagem de queda na produção de batata, feijão e milho, para o espaçamento entre aspersores de 24 x 24 m.