

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO ASPERSOR SAMOTO  
AJ25A1, SOB AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO MUNICÍPIO DE SOUSA-Pb.

POR  
PAULO CESAR ESPINOSA DE OLIVEIRA  
( ENGENHEIRO CIVIL )

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA  
DEZEMBRO / 1990

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO ASPERSOR SAMOTO  
AJ25A1, SOB AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO MUNICÍPIO DE SOUSA-Pb.

---



---

048u Oliveira, Paulo Cesar Espinosa de  
Uniformidade de distribuição de água do aspersor samoto  
AJ25A1, sob as condições climáticas do município de Sousa-  
PB / Paulo Cesar Espinosa de Oliveira. - Campina Grande,  
1990.  
87 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) -  
Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e  
Tecnologia.

1. Irrigação por Aspersão 2. Engenharia Sanitária 3.  
Recursos Hídricos 4. Água - 5. Distribuição de Água - 6.  
Dissertação I. Azevedo, Hamilton Medeiros de, M.Sc. II.  
Mouco, Carlos Alberto Pereira, M.Sc. III. Universidade  
Federal da Paraíba - Campina Grande (PB) IV. Título

CDU 631.674.5(043)

---

PAULO CESAR ESPINOSA DE OLIVEIRA

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA DO ASPERSOR SAMOTO  
AJ25A1, SOB AS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DO MUNICÍPIO DE SOUSA-Pb.

---

Dissertação apresentada ao curso de  
Pós-graduação em Engenharia Agrícola da  
Universidade Federal da Paraíba, em  
cumprimento às exigências para obtenção  
do grau de mestre em ciências (M.Sc.)

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: ENGENHARIA DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM  
ORIENTADOR: PROF. HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO - M.Sc.  
CO-ORIENTADOR: CARLOS ALBERTO PEREIRA MOUCO - M.Sc.

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA

DEZEMBRO / 1990

UNIFORMIDADE DE DISTRIBUIÇÃO DE AGUA DO ASPERSOR SAMOTO  
AJ25A1, SOB AS CONDIÇÕES CLIMATICAS DO MUNICIPIO DE SOUSA-Pb.

POR

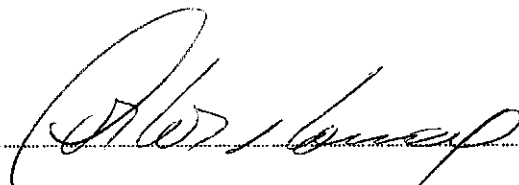
PAULO CESAR ESPINOSA DE OLIVEIRA

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 20 / 12 / 90



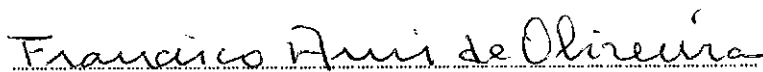
HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO - M.Sc.

ORIENTADOR



CARLOS ALBERTO PEREIRA MOUCO - M.Sc.

CO-ORIENTADOR



FRANCISCO ASSIS DE OLIVEIRA - DOUTOR

EXAMINADOR

CAMPINA GRANDE - PARAIBA.

À minha mãe Maria  
Espinosa Oliveira e ao  
meu pai Antônio Oliveira

MINHA HOMENAGEM

Ao meus filhos Paula  
e Felipe

DEDICO

## AGRADECIMENTOS

À companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco-CODEVASF, pela oportunidade concedida para realização deste curso.

Ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas, que possibilitou a realização dos trabalhos de campo.

À Universidade Federal da Paraíba, por intermédio do Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar o curso de mestrado em Engenharia Agrícola.

Ao prof. Hamilton Medeiros de Azevedo pela valiosa orientação deste trabalho.

Ao Eng<sup>o</sup> Agrônomo Alberto Colombo, pela valiosa contribuição na área de computação.

Ao prof. João Gil de Luna, e o estatístico José Welliton dos Santos pelo auxílio prestado nas análises de regressão.

Ao Eng<sup>o</sup> Agrônomo Carlos Alberto Pereira Mouco, pela amizade e apoio.

Aos prof<sup>os</sup> Hans Raj Gheyi, Gledsneli de Lima Lins e Manoel Gilberto de Barros, pelo estímulo e apoio.

Finalmente, a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para que este trabalho fosse realizado.

## LISTA DE QUADROS

QUADRO		PÁGINA
1	- ESPAÇAMENTO ENTRE ASPERSORES RECOMENDADOS POR SCHWAB ET ALLI, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO PARA PRESSÃO ENTRE 2 A 4 ATM. ....	5
2	- RESULTADO DA ANÁLISE DOS PARÂMETROS ESTIMADOS, ENVOLVENDO TODAS AS VARIÁVEIS ESTUDADAS .....	37
3	- RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO ENVOLVENDO TODAS AS VARIÁVEIS ESTUDADAS .....	37
4	- RESULTADOS DA ANÁLISE DOS PARÂMETROS ESTIMADOS DO ESPAÇAMENTOS 12 x 12 m .....	38
5	- RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DO ESPAÇAMENTO 12 x 12 m .....	38
6	- RESULTADOS DA ANÁLISE DOS PARÂMETROS ESTIMADOS DO ESPAÇAMENTO 12 x 18 m .....	38
7	- RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DO ESPAÇAMENTO 12 x 18 m .....	39
8	- RESULTADOS DA ANÁLISE DOS PARÂMETROS ESTIMADOS DO ESPAÇAMENTO 18 x 18 m .....	39



QUADRO	PÁGINAS
9 - RESULTADOS DA ANÁLISE DE VARIÂNCIA DA REGRESSÃO DO ESPAÇAMENTO 18 x 18 m .....	39
10 - QUADRADOS MÉDIOS PARA OS FATORES E INTERAÇÃO ENVOLVIDOS NO EXPERIMENTO, FORNECIDO PELA ANÁLISE DA VARIÂNCIA, PARA O COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN (CUC), EM CADA ESPAÇAMENTO, BEM COMO, OS COEFICIENTES DE VARIAÇÃO DO ENSAIO .....	45
11 - MÉDIAS ESTIMADAS DOS COEFICIENTES DE CHRISTIANSEN (CUC) EM CADA ESPAÇAMENTO .....	47

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
1 - MODELO DE APLICAÇÃO EM CONDIÇÃO DE VENTO VARIÁVEL, SEGUNDO ELJANANI .....	6
2 - EFEITO DE DIFERENTES PRESSÕES NA DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DE UM ASPERSOR .....	8
3 - DESUNIFORMIDADE NA DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO CAUSADA POR VARIAÇÃO NA VELOCIDADE DE ROTAÇÃO DO ASPERSOR DURANTE CADA REVOLUÇÃO, SEGUNDO CHRISTIANSEN. DADOS DO TESTE: BOCAIS 5 / 16" E 11 / 64 ", PRESSÃO 40 psi, VAZÃO 22,5 gpm, VELOCIDADE DE ROTAÇÃO 0,68 rpm .....	9
4 - INFLUÊNCIA DO VENTO NA DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA DE UM ASPERSOR, SEGUNDO CHRISTIANSEN. DADOS DO ENSAIO: BOCAIS, 9 / 32 " E 3 / 16 ", PRESSÃO 40 psi, VAZÃO 18,6 gpm .....	11
5 - DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DE UM ASPERSOR QUE TRABALHOU SOB CONDIÇÃO FAVORÁVEIS PARA O TESTE, SEGUNDO CHRISTIANSEN. DADOS: BOCAIS 1 / 4 " E 7 / 32 ", PRESSÃO 40 psi, VAZÃO 19,3 gpm .....	12

6 - DISPOSIÇÃO DOS PLUVIÔMETROS ONDE FORAM REALIZADOS OS TESTES DE DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA ..... 28

7 - INTENSIDADE DE APLICAÇÃO (I) EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA EM RELAÇÃO AO ASPERSOR (D), OBTIDA COM TUBO DE ELEVAÇÃO A 1,00 m, PRESSÃO DE SERVIÇO DE 200 E 250 Kpa, BOCAL DE 4,8 mm, EM DUAS CONDIÇÕES DE VENTO ..... 41

8 - INTENSIDADE DE APLICAÇÃO (I) EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA EM RELAÇÃO AO ASPERSOR (D), OBTIDA COM TUBO DE ELEVAÇÃO A 1,00 m, PRESSÃO DE SERVIÇO DE 300 E 350 Kpa, BOCAL DE 4,8 mm, EM DUAS CONDIÇÕES DE VENTO ..... 42

9 - INTENSIDADE DE APLICAÇÃO (I) EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA EM RELAÇÃO AO ASPERSOR (D), OBTIDA COM ALTURA DO TUBO DE ELEVAÇÃO A 2,00 m, PRESSÃO DE SERVIÇO DE 200 E 250 Kpa, BOCAL DE 4,8 mm, EM DUAS CONDIÇÕES DE VENTO ..... 43

## FIGURA

## PÁGINA

- 10 - INTENSIDADE DE APLICAÇÃO (I) EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA EM RELAÇÃO AO ASPERSOR (D), OBTIDA COM TUBO DE ELEVACÃO A 2,00 m, PRESSÃO DE SERVIÇO DE 300 E 350 Kpa, BOCAL DE 4,8 mm, EM DUAS CONDIÇÕES DE VENTO ..... 44
- 11 - ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO, PARA OS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DOS ASPERSORES, COM TUBO DE SUBIDA A 1,00 m ..... 49
- 12 - ESTIMATIVA DO COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN, EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE DO VENTO, PARA OS DIFERENTES ESPAÇAMENTOS DOS ASPERSORES, COM TUBO DE SUBIDA A 2,00 m ..... 50

O presente trabalho foi conduzido no projeto de irrigação São Gonçalo, pertencente ao Departamento Nacional de Obras contra as Secas-DNOCS, localizado no município de Souza-Paraíba, no período de 13 de agosto a 14 de setembro de 1990, com o objetivo de avaliar o desempenho do aspersor AJ25A1, adotado no projeto Formoso "A"-CODEVASF, município de Coribe-Ba. Os testes foram realizados, sob diferentes condições climáticas, para os espaçamentos de 12 x 12 m, 12 x 18 m e 18 x 18 m, tubo de subida de 1,0 m e 2,0 m e pressões de 200, 250, 300 e 350 Kpa; foram estudados os efeitos do espaçamento, altura do tubo de subida, pressão do bocal e velocidade do vento, sobre uniformidade de distribuição determinada pelo método de Christiansen. O modelo de distribuição de água de um único aspersor foi considerado para representar a distribuição de um sistema de irrigação. Foi usado um programa de computador desenvolvido pelo centro Nacional de Engenharia Agrícola - CENEA, para efetuar os cálculos relativos à superposição e à determinação da uniformidade de distribuição da água. Equações de regressão linear múltipla foram estabelecidas para estimar o coeficiente de uniformidade de Christiansen, usando como variáveis os fatores estudados. Com base nos resultados do trabalho, para obter coeficientes acima de 80%, recomendam-se os seguintes espaçamentos: com tubos de subida a 1,0 m, os espaçamentos 12 x 12 m, 12 x 18 m e 18 x 18 m, deverão trabalhar respectivamente nas velocidades de vento  $\leq 4,0$ ,  $\leq 1,2$  e  $\leq 1,0$  m/s; e, para tubos de elevação a 2,0 m, as velocidades de vento indicadas são:  $\leq 4,0$ ;  $\leq 1,70$  e  $\leq 1,20$  m/s, respectivamente.

Aiming to evaluate the performance of the sprinkler model AJ25A1, adopted by the CODEVASF - Formoso A project, in Coribe-Ba, a study was carried out during the period of August 13 to September 14, 1990, at the São Gonçalo irrigation project, which is administered by the Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS and located in the municipality of Sousa - Pb. Field tests were conducted under different climate conditions to evaluate the sprinkler patterns for the spacings of 12 x 12, 12 x 18 and 18 x 18 m, with the riser support heights of 1.00 and 2 m, and under working pressures of 200, 250, 300 and 350 Kpa. The effects of the sprinkler spacing, height of the riser support, nozzle pressure and wind speed on the distribution uniformity as given by the Christiansen's method was studied. A single sprinkler water distribution model was used to represent the water distribution of an irrigation system. A computer program developed by the Centro Nacional de Engenharia Agrícola - CENEA, was used to calculate the overlapping and uniformity of water distribution. Linear multiple regression were developed to estimate the Christiansen's uniformity coefficient using the studied parameter mentioned earlier. To obtain coefficients values higher than 80%, the recommended spacing and the respective wind velocities are as follows: for the riser support height of 1.0 m and sprinkler spacings of 12 x 12, 12 x 18 and 18 x 18 m, the respective wind speed values should be  $\leq 4.0$ ,  $\leq 1.2$  and  $< 1.0$  m/s; for the riser support of 2.0 m and the same sprinkler spacings, the suggested wind velocities were  $\leq 4.0$ ,  $\leq 1.7$  and  $\leq 1.2$  m/s, respectively.

## ÍNDICE

	PÁGINA
LISTA DE QUADROS .....	ii
LISTA DE FIGURAS .....	iv
RESUMO .....	vii
ABSTRACT .....	viii
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO .....	1
CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA .....	3
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS .....	25
1- LOCALIZAÇÃO DOS ENSAIOS E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA .....	25
2- DESCRIÇÃO DO SISTEMA DE ASPERSÃO USADO NOS TESTES .....	25
3- TRATAMENTOS .....	26
4- PROCEDIMENTO DE CAMPO .....	26
5- ANÁLISE DOS DADOS .....	31
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	33
1- INFLUÊNCIA DA ALTURA DO TUBO DE ELEVAÇÃO .....	36
2- INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO DOS ASPERSORES .....	41
3- INFLUÊNCIA DA PRESSÃO DE SERVIÇO .....	47
4- INFLUÊNCIA DO HORÁRIO .....	47
5- INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DO VENTO .....	49
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	52

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	.....	54
APÊNDICE	.....	58
A - FICHAS UTILIZADAS PARA ANOTAÇÕES		
DOS DADOS DE CAMPO	.....	59
B - TABELAS DOS DADOS COLETADOS EM CADA		
ENSAIO	.....	63
C - VELOCIDADE DE ROTAÇÃO SETORIAL DO		
ASPERSOR	.....	68
D - SAÍDA DO PROGRAMA DE COMPUTADOR		
COM OS CÁLCULOS DOS COEFICIENTES DE		
UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN	.....	73
E - COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE EM		
FUNÇÃO DA PRESSÃO (Kpa), ALTURA DO		
ASPERSOR (m), ESPAÇAMENTO (m x m)		
E VELOCIDADE DO VENTO (m/s)	.....	78



## CAPÍTULO I

### INTRODUÇÃO

A água é um fator primordial no crescimento e desenvolvimento das plantas. As irregularidades do regime pluviométricos, em muitas regiões, impõem restrições ao desenvolvimento das culturas, tornando a irrigação uma prática importante na estabilidade econômica da atividade agrícola.

A irrigação por aspersão é tida como um dos melhores sistemas de aplicação de água devido a sua eficiência e sua adaptabilidade a diversos tipos de relevo e qualidade do solo. No Brasil a área irrigada por aspersão tem aumentado consideravelmente em função do uso crescente do método. Desta forma, diversos fabricantes produzem hoje uma quantidade de equipamento de diversos tipos e qualidade.

Geralmente, nada é mencionado com respeito a uniformidade de aplicação de água dos aspersores. Além disso, as firmas fornecedoras não apresentam certificados de qualidade desses materiais. As empresas produtoras de aspersores, fornecem catalogos, em geral, com dados de pressão de serviço, alcance do jato, vazão, precipitação, área útil irrigada e espaçamento, para determinado jogo de bocais.

Em sistemas de irrigação por aspersão, escolha e seleção do aspersor é realizada através de sua adequação a infiltração do solo, relação bico pressão em função do vento e da planta, e, espaçamento, em função do vento. O coeficiente de uniformidade do aspersor é o método mais seguro para determinar o espaçamento, através da distribuição quantitativa e qualitativa

de água.

Para a determinação da uniformidade de distribuição da água, são usados indicadores propostos por diversos pesquisadores.

Entre os pesquisadores da performance de um sistema de aspersão, destaca-se J. E. Christiansen por ter sido o primeiro a dar ênfase a este tipo de trabalho. Desta maneira, o coeficiente por ele proposto é o mais estudado, e conhecido com a denominação de coeficiente de uniformidade de Christiansen. Através deste indicador conhecemos a qualidade da distribuição de água.

A determinação do coeficiente de uniformidade é o processo estatístico mais comum para avaliação do sistema de irrigação por aspersão, sendo que, por convenção, 80% é o valor mínimo aceitável para um bom desempenho do aspersor.

A avaliação de uma instalação de irrigação por aspersão, possibilita verificar se ela está de acordo com o estabelecido no projeto. Desta maneira, a avaliação propicia corrigir eventuais falhas e proceder ajustes para garantir adequado manejo, Vieira (1989).

O objetivo deste trabalho foi desenvolver uma equação para a determinação e análise do coeficiente de uniformidade de Christiansen em função da altura do tubo de elevação do aspersor, da pressão no bocal, da velocidade média do vento, do espaçamento dos aspersores ao longo da lateral e do espaçamento entre linhas laterais, para o aspersor Samoto AJ25A1.

## CAPÍTULO II

### REVISÃO DE LITERATURA

Vários autores têm estudado a distribuição da precipitação de sistemas de irrigação por aspersão, afirmando que o rendimento da cultura está estreitamente relacionado com a uniformidade de distribuição da água.

São muitas as variáveis que afetam o desempenho de um aspersor. Pair (1968), com o propósito de obter uma melhor visão dessas variáveis, pode-se agrupá-las, em três categorias distintas:

- 1-) Variáveis que são função da própria construção do aspersor;
  - a-) Acabamento interno.
  - b-) Ângulo de saída do jato.
  - c-) Número de bocais do aspersor.
  - d-) Diâmetro dos bocais.
  - e-) Material com que é fabricado o aspersor.
  - f-) Comprimento dos braços.
  - g-) Uniformidade na rotação.
  
- 2-) Variáveis que dependem das condições de operação;
  - a-) Pressão de serviço.
  - b-) Velocidade de rotação.
  - c-) Altura da haste.

3-) Variáveis que dependem das características climáticas;

a-) Vento.

b-) Umidade relativa do ar.

c-) Evaporação.

d-) Insolação.

Marouelli (1989) esclarece que em regiões onde a intensidade do vento é prejudicial a irrigação por aspersão, deve-se procurar considerar os seguintes pontos:

a-) Grau de pulverização do jato: 4 a 5;

b-) Diâmetro do bocal: 8 a 14 mm;

c-) Pressão de serviço: 3 a 5 kgf/cm<sup>2</sup>;

d-) Forma do bocal: convergente - alongado;

e-) Velocidade de rotação: 0,4 a 0,6 rpm;

f-) Número de bocais: 2;

g-) Ângulo de inclinação do bocal: (20°);

h-) Altura do aspersor: a menor possível;

i-) Disposição dos aspersores: em função da velocidade do vento.

Schwab et alli (1966) citado por Ferreira (1976) estabeleceu que para se diminuir o efeito do vento na aplicação da água de um sistema por aspersão deve-se utilizar os espaçamentos apresentados no quadro 1, que são máximo para aspersores de baixa e média pressão (2 a 4 atm), para as respectivas velocidades de vento.

QUADRO - 1 : Espaçamento entre aspersores recomendados por Schwab et alli, em função da velocidade do vento, para pressão entre 2 a 4 atm.

Velocidade do vento. ( m/s )	Espaçamento entre aspersores de uma linha. (% diâmetro molhado)	Espaçamento entre linhas do aspersores. (% diâmetro molhado)
0	50	65
2 ou menor	45	60
2 a 4	40	50
4 ou maior	30	30

Eljanani (1963) citado por Ferreira (1976), diz que o vento desviando o jato do aspersor, como mostra a figura 1, prejudica o modelo de aplicação, origina escoamento e aplica água fora da área de irrigação. O mesmo autor sugere que a irrigação por aspersão deve ser feita em períodos do dia em que a velocidade do vento não ultrapasse a 2,5 metros por segundo.

Pera (1971) citado por Ferreira (1976) informa que o vento constitui um sério inconveniente e, que as distorções na aplicação causadas pelo mesmo, podem ser diminuídas, utilizando-se a disposição dos aspersores, em retângulos com o lado maior (geralmente distância entre linhas) na direção do vento.

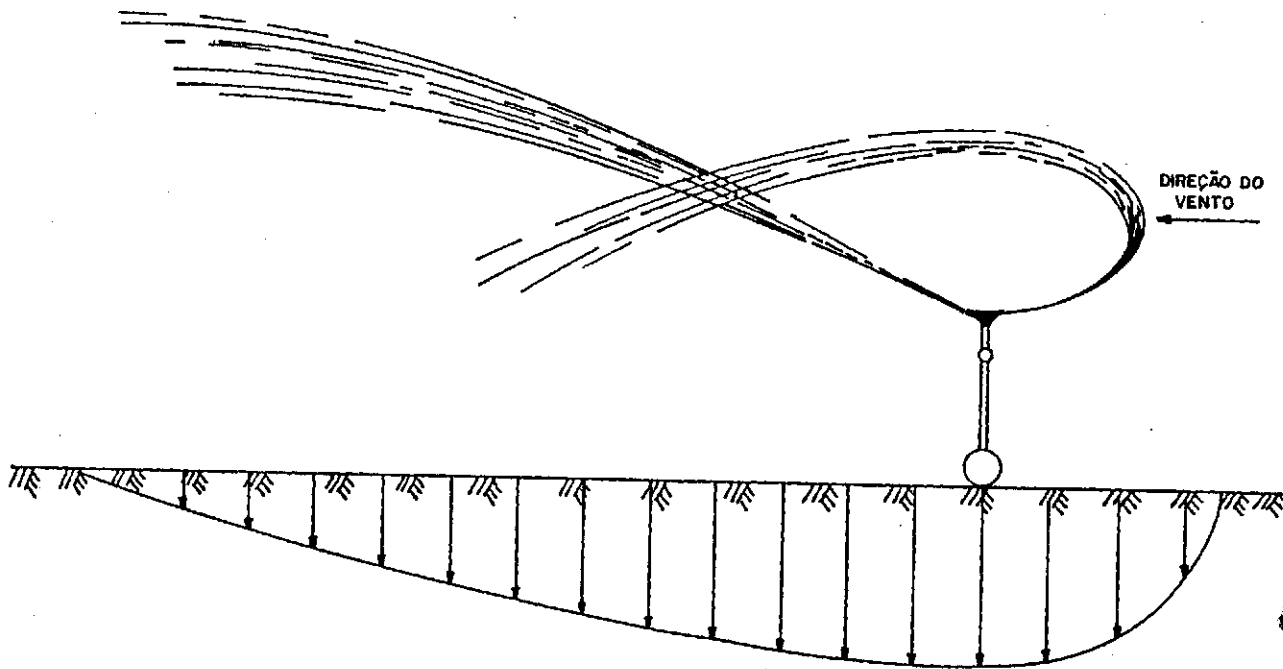
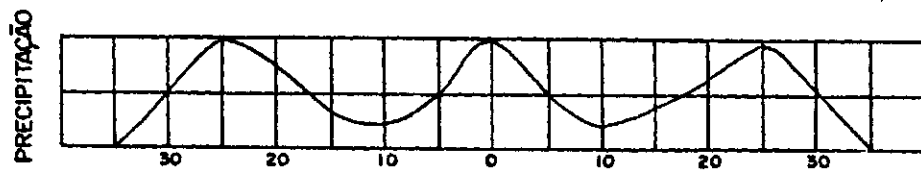


FIGURA - 1 : Modelo de aplicação em condições de vento variável, segundo Eljanani.

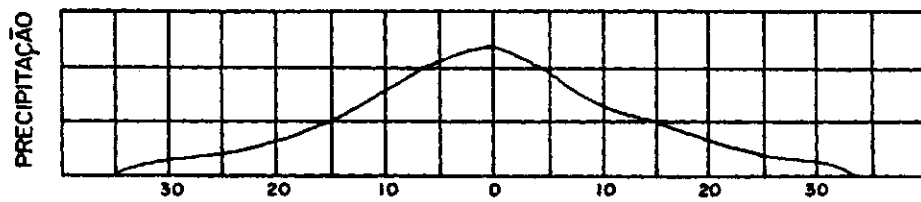
Christiansen (1942), Ollita (1987), Daker (1983), Bernardo (1986), Pillsbury (1968) são unânimes em afirmar que os modelos de distribuição da precipitação de um aspersor trabalhando isoladamente com três diferentes pressões, sendo a primeira insuficiente, a segunda satisfatória e a terceira excessiva, podem ser representadas, graficamente, por meio de um corte diametral do modelado como apresentados na figura 2.

Quando a pressão está abaixo dos limites recomendados, ocorrerá uma inadequada pulverização do jato, proporcionando uma maior deposição da água na extremidade da área molhada, prejudicando grandemente a uniformidade da irrigação (Ver FIGURA 2a). Uma pressão excessiva irá acarretar uma pulverização muito grande do jato produzindo gotas de tamanho reduzido, com um excesso de deposição de água próximo do aspersor e uma perda no alcance do jato (Ver FIGURA 2c). A figura 2b, apresenta uma adequada pulverização do jato, proporcionando uma boa uniformidade da irrigação.

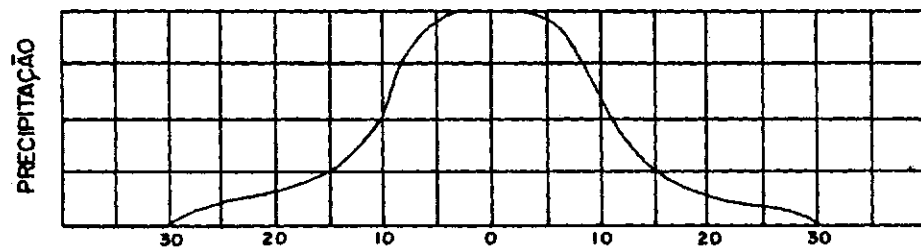
Christiansen (1942) após realizar trabalhos na Califórnia, concluiu que algumas irregularidades na distribuição da água, são devidas a variação da velocidade de rotação dos aspersores durante uma revolução completa, e que dessa forma, ocorre uma maior precipitação no setor em que o aspersor girar mais lentamente. Na figura 3 o autor mostra como a distribuição pode ser afetada pela variação da velocidade de rotação.



a - Pressão insuficiente



b - Pressão satisfatória



c - Pressão excessivo

FIGURA - 2 : Efeito de diferentes pressões na distribuição da precipitação de um aspersor.



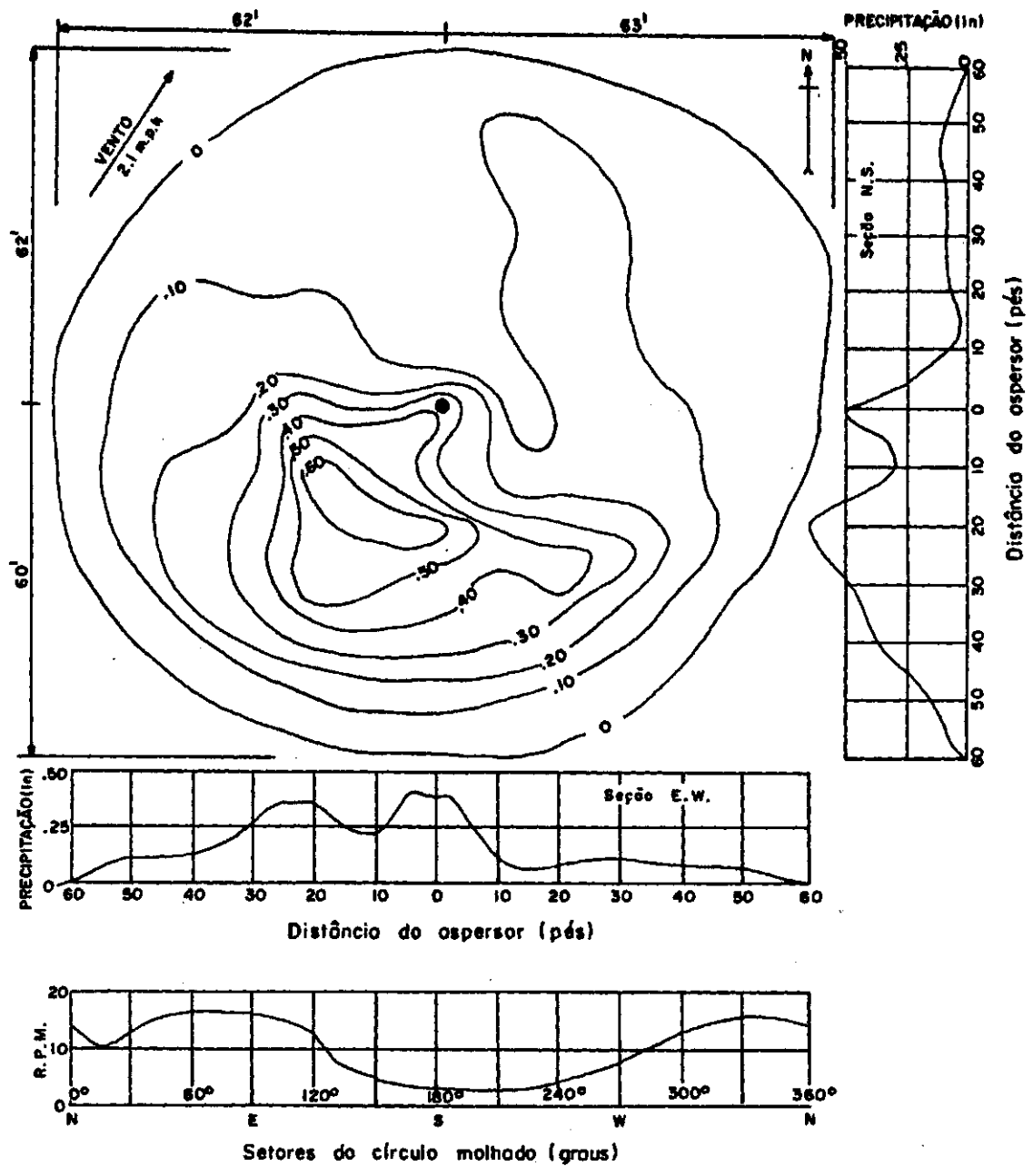


FIGURA - 3 : Desuniformidade na distribuição da precipitação causada por variação na velocidade de rotação do aspersor durante cada revolução, segundo Christiansen. Dados do teste: bocais 5/16" e 11/64", pressão 40 psi, vazão 22,5 gpm, velocidade de rotação 0,68 rpm.

Christiansen (1942) informa que o efeito do vento sobre a uniformidade da água, considerando uma grande área adequadamente coberta pelos aspersores é menos sério que irregularidades devidas a outras causas, como por exemplo, a variação da velocidade de rotação do aspersor.

A figura 4 mostra a influência do vento sobre a distribuição de água do aspersor e a figura 5 mostra a distribuição típica para aspersores de revolução lenta, operando sob condições favoráveis.

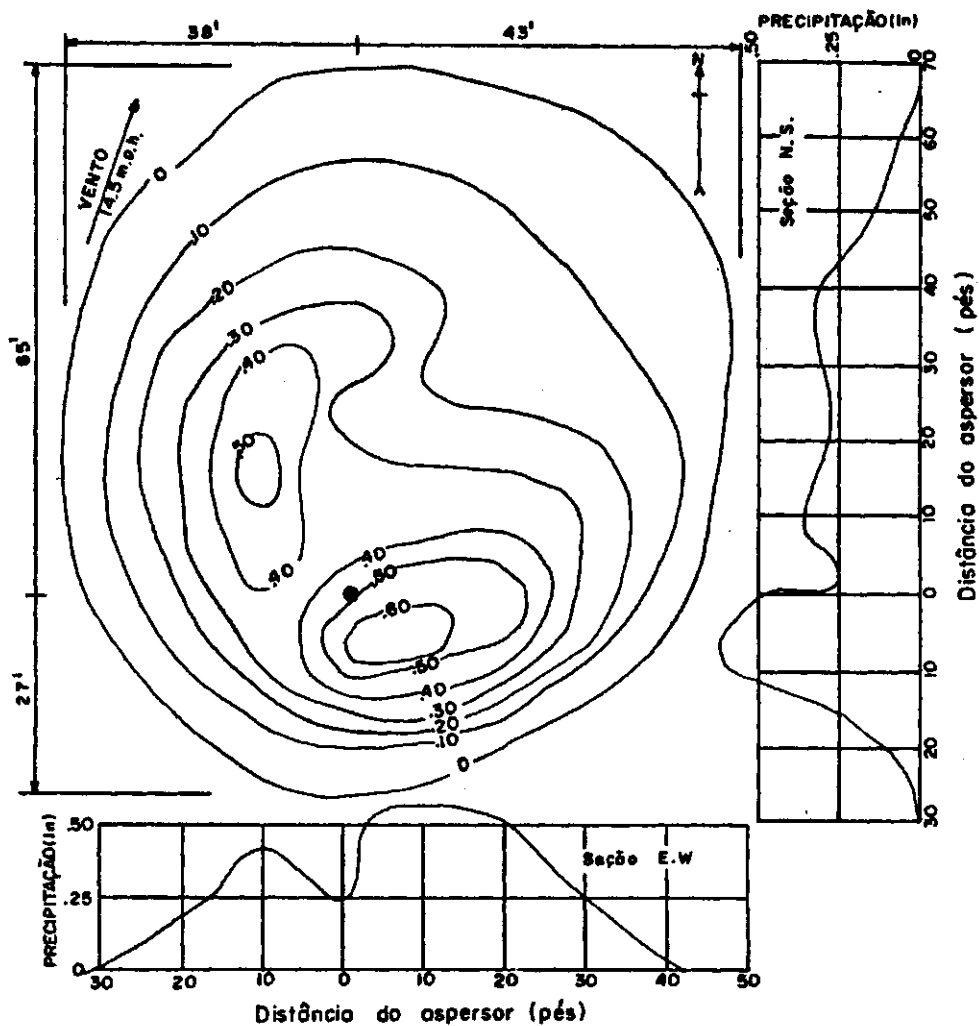


FIGURA - 4 : Influência do vento na distribuição da água de um aspersor, segundo Christiansen. Dados do ensaio: Bocais, 9/32" e 3/16", pressão 40 psi, vazão 18,6 gpm.

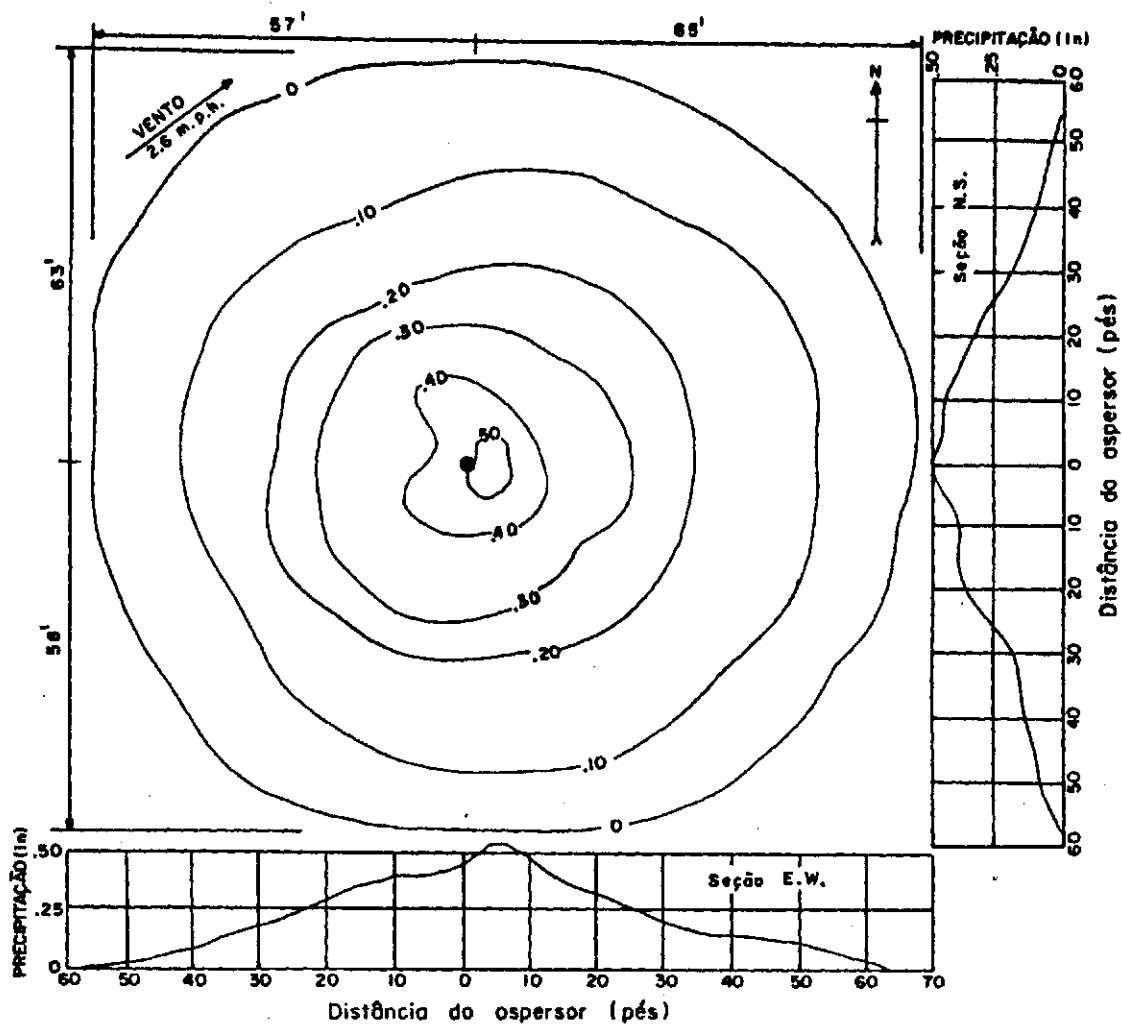


FIGURA - 5 : Distribuição da precipitação de um aspersor que trabalhou sob condições favoráveis para o teste, segundo Christiansen. Dados: Bocais 1/4" e 7/32", pressão 40 psi, vazão 19,3 gpm.

Segundo Raposo (1980) na quase totalidade dos aspersores a velocidade de rotação não é uma característica fixa de fabrico, pois é influenciada por vários fatores: diâmetro do bocal ligado ao deflector - martelo, pressão de funcionamento, tensão da mola, grau de desgaste das peças do aspersor que intervêm no respectivo movimento de rotação, etc.

Nos aparelhos com mola, que são a maioria, a velocidade de rotação pode, dentro de certos limites, ser regulada, fazendo variar a tensão daquela. Certos aspersores têm mesmo um dispositivo apropriado para facilitar essa regulação.

Os aspersores em funcionamento correto fazem uma rotação geralmente entre 45 segundos e 3 minutos. É, no entanto, frequente ver aparelhos efetuarem uma volta em menos de 20 segundos, o que é quase sempre, devido a uma excessiva pressão de funcionamento. Na opinião de grande número de autores da especialidade (Christiansen, Merrian, Keller, etc.), em caso algum os aspersores devem fazer mais do que 2 a 3 rotações por minuto. Em princípio, a velocidade de rotação deve ser a menor possível para não se reduzir excessivamente o alcance do jato e a vida útil dos aspersores.

Pillsbury (1968) diz que, para montagem da rede de pluviômetro, deve-se dividir a área de influência do aspersor em quadrados iguais, e no centro de cada quadrado instalar um pluviômetro. Recomenda, também, que a área de cada quadrado deve ser de maneira que permita a utilização de 40 a 100 pluviômetros sobre a área molhada pelo aspersor.

Chaudhry et alli (1973) citado por Satto (1978), realizaram ensaios no campus da Escola de Engenharia de São Carlos, com um único aspersor, e na Faculdade de Agronomia de Jaboticabal, com 4 aspersores. Concluíram que os testes realizados com um único aspersor são os mais recomendados, pois através do uso do computador, podem ser gerados vários dados de precipitações superpostos, para cada espaçamento.

Branscheid e Hart (1968) citado por Satto (1978) realizaram vários testes em que foram utilizados um e mais de um aspersor, simultaneamente, e concluíram que o erro introduzido quando o teste é realizado com um único aspersor, é menor do que 0,5 %.

Hart (1961) citado por Matsura (1987) esclarece que existem diversas formas e arranjos para obtenção da superposição de valores de precipitação. Uma delas é colocar os aspersores em determinado espaçamento a ser investigado. Neste caso, todos os aspersores são operados durante o teste de modo que a água lançada por eles na área em estudo, fosse incluída nos cálculos da distribuição. Outro método bastante utilizado, é aquele que trabalha um único aspersor com pluviômetros dispostos ao redor para coletar a água precipitada. Posteriormente, faz-se a simulação dos diversos espaçamentos, originando superposições, e, por meio da uniformidade, verifica-se qual deles é o melhor. Este método tem como principal vantagem, requerer menos tempo para realização do teste.

Segundo Bernardo (1987) o vento, a umidade relativa do ar e a temperatura são os principais elementos climáticos que afetam a irrigação por aspersão. O vento afeta a uniformidade de distribuição dos aspersores, enquanto que a temperatura e a umidade relativa do ar, afetam a perda da água por evaporação.

Olitta (1984) diz que, o coeficiente de uniformidade de distribuição da água é afetado pelo espaçamento dos aspersores, condições de vento e relação entre pressão e diâmetro do bocal. Uma combinação entre, estes fatores resultará na distribuição correta da água na área.

Daker (1984) cita que cada fabricante de equipamento de aspersão dispõe de uma série de modelos de aspersores, com bocais variados, pressão de serviço, vazão, e alcance do jato, de maneira a atender as mais variadas condições de solo e cultura. Entretanto, é importante estabelecer a pressão satisfatória de funcionamento do aspersor, de modo a permitir melhor distribuição de água.

A American Society of Agricultural Engineers (ASAE), citado por Olitta (1984), através de seu comitê de irrigação, apresentou uma série de recomendações para uma realização correta do teste com um aspersor:

- 1) Localização: Os aspersores devem ser localizados numa área com solo nu ou cuja vegetação tenha uma altura menor que 8 cm. A declividade máxima é de 1% para aspersores com vazão menor que 2,2 l/s, e 2% para outros aspersores.
- 2) Coletores: Os coletores da precipitação (latas) devem ser todos do mesmo tamanho, colocados em posição vertical para receber a precipitação e dentro de um plano horizontal, espaçados uniformemente formando um quadriculado em volta do aspersor.
- 3) Medições: Deve-se medir a pressão do aspersor com um tubo de Pitot colocado no bico principal. Esta pressão não deve variar mais que 3% durante a realização do teste. A vazão do aspersor deve ser avaliada com uma precisão de  $\pm 3\%$ , através de medição volumétrica. A taxa de rotação do aspersor deve ser marcada nos quatro quadrantes. A altura de aplicação em

cada coletor deve ser medida com uma exatidão de  $\pm 0,25$  mm e anotado numa planta indicativa de sua posição em relação ao aspersor.

- 4) Duração: O teste deve prolongar-se até que a altura média de água coletada nos recipientes seja no mínimo 6 mm.
- 5) Outros: Deve-se medir a grandeza e direção do vento, bem como a taxa de evaporação durante a realização do teste.

Christiansen (1942) baseado em vários testes de campo, afirmou que os aspersores distribuem água em áreas circulares, não sendo possível obter uma aplicação com absoluta uniformidade. O grau de uniformidade vai depender do tipo de distribuição, que é função do vento, pressão de serviço, uniformidade de rotação dos aspersores, altura da haste, diâmetro e tipo de bocal. A uniformidade depende também do espaçamento entre aspersores.

Gomide (1978) estudou o efeito de diferentes fatores, inclusive o vento, sobre a uniformidade de distribuição, concluindo o seguinte: Quanto maior a velocidade do vento menor deverá ser o espaçamento dos aspersores; quanto maior a altura do tubo de elevação, maior o efeito do vento; o coeficiente de uniformidade de Christiansen é mais influenciado pelo vento do que pela altura do tubo de elevação.

Arruda (1981) baseado em trabalhos de campo, afirmou que a uniformidade de distribuição de água no sistema de irrigação por aspersão em linha, mostraram que o coeficiente de uniformidade diminui consideravelmente à medida que aumenta a velocidade média do vento, e a pressão de serviço deve ser



reduzida, principalmente quando se trata de ventos acima de 1,0 m/s. O autor não recomenda o uso de sistema de irrigação por aspersão em linha quando a velocidade média do vento é superior a 1,5 m/s.

Trabalhos de campo conduzidos por Medeiros Filho (1983), mostraram que:

- 1-) para qualquer espaçamento, evidenciou-se que os maiores coeficientes foram obtidos com o tubo de elevação a 2 metros de altura;
- 2-) a uniformidade de distribuição de água mostrou a tendência de redução com o aumento da velocidade do vento.

Merriam e Keller (1978) diz que, o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão pode ser grandemente melhorado através de simples modificações tais como:

- 1-) alteração da pressão de serviço, diâmetro dos bocais, altura da haste, duração do tempo de aplicação da água, utilizando sequência de posições alternadas;
- 2-) utilização de tubulação da lateral com maior diâmetro.

Esses mesmos autores, propuseram um Guia de manejo, e mostraram que melhorando o manejo da água a nível de parcela, pode-se poupar trabalho, água, conservar o solo, e ainda aumentar o rendimento das culturas. Além do mais, eles afirmam, que um sistema de avaliação deve medir e mostrar a efetividade das práticas de irrigação existentes e selecionar medidas de cunho prático e econômico.

Karmeli (1978) citado por Matsura (1987) estudou os modelos de distribuição da água pelos aspersores, usando o método

da regressão linear. Para estes modelos, foram escolhidos dezenove aspersores, operando em condições variáveis de pressão e velocidade do vento, chegando às seguintes conclusões:

1-) a regressão linear é um método preciso para descrever o perfil de distribuição de água dos aspersores. A sua precisão, com os dados atuais de campo, aumenta com o número de amostras testadas. Esta regressão possibilita uma estimativa adequada tanto para altos como para baixos valores de uniformidade de distribuição;

2-) para boas uniformidades de distribuição, a regressão estimou os dados atuais de campo tão bem quanto os modelos normais. Entretanto, para baixas uniformidades de distribuição, ou seja, o coeficiente de uniformidade de Christiansen inferior a 55%, a regressão linear demonstra melhor significância do que o modelo normal, em suas estimativas;

3-) determinou um coeficiente de uniformidade (CUL) em função da regressão determinado através da expressão:

$$CUL = 1 - 0,25 \cdot b \quad \text{eq. 1}$$

onde:  $b$  = coeficiente de regressão linear.

Lopes (1975) menciona que o fenômeno climático de considerações mais importante na aspersão é o vento, devendo-se ter por um lado, uma idéia aproximada de sua velocidade, que desempenha um papel significativo na eficiência de aplicação e, por outro lado, de sua direção, que deve ser levada em conta nas

disposições das tubulações.

Segundo Scaloppi (1984) para atribuir um valor de eficiência de aplicação de água em um sistema de irrigação por aspersão, para determinar a quantidade de água a ser aplicada, depende da uniformidade de distribuição de água dos aspersores, do valor econômico da cultura irrigada e da importância da água de irrigação para a produção agrícola.

Christiansen (1941) citado por Gomide (1978) estimou as perdas por evaporação na aspersão usando o método de recolhimento da água em pluviômetros, de 10% a 42% para os testes realizados à tarde e de aproximadamente 4% para aqueles conduzidos de manhã cedo. Não realizou estudos para diferentes condições de clima, mas concluiu que as perdas eram mais elevadas em dias de vento, quentes e secos. Christiansen (1942) diz que, o espaçamento entre os aspersores ao longo da lateral e entre laterais deve ser reduzido para velocidade de vento mais elevada. Em locais em que a direção do vento é bastante variável, o espaçamento deve aproximar-se da forma quadrada, que geralmente fornece melhor uniformidade de distribuição.

O coeficiente de uniformidade proposto por Christiansen (1942) foi o primeiro conceito desenvolvido para quantificar a uniformidade de aplicação. Ele é amplamente usado nos dias atuais e comumente chamado de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC):

$$CUC = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|}{n \bar{x}} \quad \text{eq. 2}$$

onde:

- $x_i$  = altura (ou lâmina) individual de água coletada;  
 $\bar{x}$  = altura ou lâmina média coletada;  
 $n$  = número total de observações.

Pair (1968) esclarece que vários fatores influem na distribuição da água nos sistemas de irrigação por aspersão, tais como:

- 1-) Fatores ligados ao aspersor;
- 2-) Fatores ligados aos sistemas de distribuição;
- 3-) Fatores climáticos;
- 4-) Fatores aerodinâmicos e de manejo.

Os fatores ligados ao aspersor: tamanho do bocal, ângulo do jato, velocidade de rotação, marca e modelo, pressão no bocal, número e tipo do bocal. Os associados ao sistema de distribuição são: espaçamento entre aspersores ao longo da lateral, espaçamento entre laterais, altura do aspersor acima do cultivo, estabilidade do tubo de elevação e variações na pressão do sistema. Os fatores climáticos incluem as condições locais do ambiente. Dos fatores ambientais, os mais importantes são a velocidade do vento e a sua direção. Podem-se citar outros, tais como a temperatura e a umidade relativa do ar. Os fatores do manejo do sistema englobam duração da operação, velocidade de movimentação do aspersor ou da lateral sobre o solo, alinhamento das laterais e alinhamento dos tubos de elevação. Os fatores aerodinâmico envolvem a interação das gotas de água dos aspersores adjacentes e o deslocamento das massas de ar colocados em movimento pelos jatos de água dos aspersores.

Christiansen e Davis (1966) afirmaram que basicamente a seleção e o delineamento do sistema de irrigação por aspersão baseiam-se nos conhecimentos de desempenho dos aspersores rotativos, com respeito a uniformidade de aplicação da água e sua relação com os espaçamentos dos aspersores. A uniformidade de aplicação, sob condições de campo, depende do tipo de perfil de distribuição, espaçamento entre aspersores e do efeito de vários outros fatores como vento, rotação do aspersor e altura da haste de elevação.

Howel (1964), estudando a relação de desuniformidade e a eficiência de aplicação na irrigação por aspersão, concluiu que através de exemplos numéricos, a aplicação da água não uniforme, conduz a uma redução na eficiência de aplicação. Esta redução, além do coeficiente de uniformidade de Christiansen e da intensidade média de aplicação de água, depende também de outros valores.

Walker (1979) esclarece que a uniformidade de distribuição depende das seguintes variáveis:

- 1-) Espaçamento entre aspersores e laterais;
- 2-) Bocal do aspersor;
- 3-) Pressão de serviço;
- 4-) Altura do tubo de elevação;
- 5-) Operação e manejo do sistema;
- 6-) Elementos climáticos.

De acordo Withers e Vipond (1986), o vento modifica a forma circular de distribuição de água do aspersor, transformando-se em elíptica. Esse efeito pode ser atenuado pela

diminuição do espaçamento entre aspersores, no sentido perpendicular à direção do vento. Essa solução, só será possível quando a direção for relativamente constante.

Barreto (1986), informa que para uma boa uniformidade da distribuição de água, os aspersores devem ser instalados a distância que permite superposição adequada dos círculos molhados.

Wilcox e swailes (1947), e wilcox e Mcdougald (1955), citado por Satto (1978), desenvolveram um parâmetro conhecido como coeficiente de Wilcox e Swailes ou coeficiente estatístico de uniformidade, segundo a expressão:

$$Cws = (1 - Cv) \cdot 100 (\%) \quad \text{eq. 3}$$

onde: Cv é o coeficiente de variação, dado por:

$$Cv = \frac{\left( \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \right)^{1/2}}{\bar{x}} \quad \text{eq. 4}$$

Davis (1966) diz que, o coeficiente de uniformidade estudado por Wilcox - Swaile é um método de limitada aplicação pela dificuldade em determinar sua validade por meio de métodos estatísticos. Contudo, tem sido usado nas análises de distribuição de água.

Sabe-se da agronomia, que tanto a falta quanto o excesso de água são prejudiciais as plantas. A partir deste princípio Criddle et alii (1956) citados por Satto (1978) se preocuparam com os valores mais baixos e determinaram um parâmetro conhecido

como Eficiência Padrão de Criddle (EPC), dado por:

$$EPC = \frac{\bar{x}^{**}}{\bar{x}} \cdot 100 (\%) \quad \text{eq. 5}$$

onde:

$\bar{x}^{**}$  = média dos 25% de precipitações mais baixas.

$\bar{x}$  = média geral das observações.

Beale e Howell (1957) citado por Satto (1978), propôs o Padrão de Eficiência de Beale (EPB), dado por:

$$EPB = \left( 2 - \frac{\bar{x}^{**}}{\bar{x}} \right) \cdot 100\% \quad \text{eq. 6}$$

onde:

$\bar{x}^{**}$  = média dos 25% de precipitações mais altas.

Benami e Hore (1964), criticaram o coeficiente de Christiansen e mostraram que esse coeficiente pode indicar que duas distribuições são iguais quando, na realidade são diferentes.

Desta forma, esses autores apresentaram um outro coeficiente:

$$A = \frac{Mb - \frac{\sum_{i=1}^{Nb} |x_i - Mb|}{Nb}}{Ma + \frac{\sum_{i=Nb+1}^N |x_i - Ma|}{N}} \quad \text{eq. 7}$$

onde:

$M_a$  e  $M_b$  = respectivamente, as médias dos grupos acima e abaixo da média geral.

$N_a$  e  $N_b$  = respectivamente, os números de valores de precipitações acima e abaixo da média geral.

$N_{b1} = N_b + 1$

$\sum_{i=N_{b1}}^N |X_i - M_a|$  e  $\sum_{i=1}^{N_b} |X_i - M_b|$ , são respectivamente, as somas dos

desvios absolutos das precipitações acima e abaixo da média geral.



## CAPÍTULO III

### MATERIAL E MÉTODO

#### 1-) Localização dos ensaios e caracterização da área

O ensaio foi conduzido, no período de 13 de agosto a 14 de setembro de 1990, no Projeto de Irrigação São Gonçalo, pertencente ao Departamento Nacional de Obras Contra as Secas - DNOCS, localizado no município de Souza - Paraíba.

O clima é do tipo semi-árido muito quente, com apenas duas estações climáticas bem definidas: uma seca que geralmente prolonga-se por sete ou oito meses, e uma chuvosa que ultrapassa os cinco meses. A média anual de precipitação é 894 mm, bastante irregular, ocorrendo maior quantidade de chuvas nos meses de janeiro a maio e quase nenhuma chuva nos meses de agosto à dezembro. A temperatura média do ar é de 27,84°C. A umidade relativa do ar é de 58% e a velocidade média do vento é de 2,5 m/s. Segundo a classificação climática de Koeppen, o clima da região é do tipo BSW'h', ou seja, seco, muito quente.

#### 2-) Descrição do sistema de aspersão usado nos testes

Utilizou-se neste estudo um sistema de aspersão, cujas características são descritas abaixo:

a-) Conjunto eletro-bomba, composto de um motor elétrico W0 motores S/A de 7,5 CV, 380/660 V e uma bomba centrífuga marca King de modelo C8E9, rotor 152 mm e 2.500 rpm;

- b-) Tubos de condução de água em aço zincado, com engate rápido, de 70 mm e 6 m de comprimento;
- c-) Tubos de elevação do aspersor com 25,4 mm de diâmetro e altura de 1,00 e 2,00 metros;
- d-) Aspersor marca Samoto, fabricado pela Samoto-Santo Amaro Motores Agrícola Ltda., modelo AJ25A1, adotado no projeto Formoso "A" - CODEVASF, município de Coribe-Ba, com bocal de 4,8 mm e ângulo de elevação do jato d'água de 30°.

### 3-) Tratamentos

Com o objetivo de avaliar os efeitos do espaçamento dos aspersores e da altura do tubo de elevação no desempenho de um sistema de irrigação por aspersão, testaram-se os seguintes tratamentos:

- a-) Espaçamentos dos aspersores: 12 X 12 m; 12 X 18 m; 18 X 18 m; 18 X 24 metros.
- b-) Altura do tubo de elevação: 1,0 m e 2,0 m.
- c-) Pressão de serviço: 200, 250, 300 e 350 Kpa (20, 25, 30 e 35 mca).

Estes tratamentos foram avaliados sob diferentes condições de temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento.

### 4-) Procedimento de campo

O fornecimento de água ao aspersor foi feito derivando-se água de um canal, próximo a área de testes, por meio do conjunto eletro-bomba, descrito anteriormente.

Os testes foram realizados em uma área plana, sem vegetação, localizada próximo a estação climatológica do Projeto de Irrigação São Gonçalo.

A uniformidade de distribuição foi determinada utilizando o modelo de distribuição de água de um único aspersor operando isoladamente.

A cada teste o aspersor funcionava por 90 minutos. Como pluviômetros, foram utilizados latas de óleo lubrificantes de 83,5 mm de diâmetro e 163,6 mm de altura, com capacidade de um litro e bordas rebatidas. Usaram-se 196 coletores dispostos ao redor do aspersor em malha de três metros de lado (FIGURA 6), colocados sobre o solo nivelado e presos em suportes metálicos, assegurando estabilidade e nivelamento de suas secções de captação, mantendo-as a uma altura de 163,6 mm do solo.

Foram realizados setenta e dois testes com o aspersor.

Realizaram-se três repetições por teste, em três horários distintos, com início às 7:00, 11:00 e 15:00 horas.

A pressão de serviço para cada ensaio foi determinada no bocal ejetor do aspersor, utilizando-se um manômetro marca Willy, graduado em  $\text{Kg/cm}^2$ , acoplado a um tubo de Pitot. A pressão foi ajustada com registros de gaveta instalados na saída da bomba e na tubulação, seguido de um manômetro, graduado em  $\text{Kg/cm}^2$ . A pressão era verificada no início e no final do teste.

A vazão do aspersor, para cada teste, foi medida pelo processo direto, que consistiu em usar um recipiente de volume conhecido e um cronômetro. Admitiu-se como vazão do bocal a média de três repetições, verificando-se a vazão no início e no final do teste.

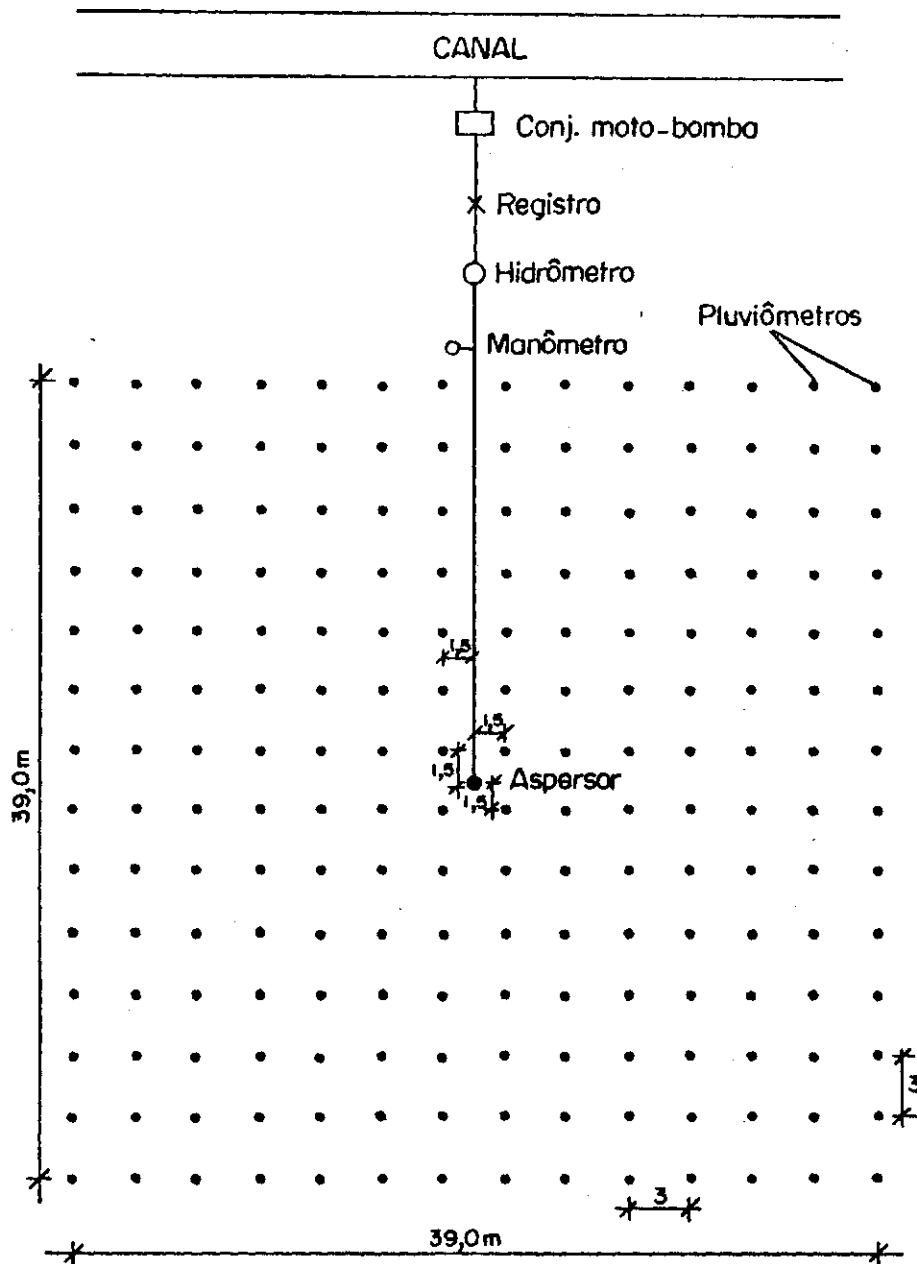


Figura 6 - Disposição dos pluviômetros onde foram realizados os testes de distribuição da água.

Na mediç o das vaz es foram conectado ao bocal do aspersor pedac os de mangueira de di metro igual a 1" (25,4 mm) e de comprimento de 1,5 e 3,0 metros. Desta maneira, conseguiu-se desviar o jato d' gua do bocal para o interior do recipiente.

Para verificar as perdas por evapora o, durante cada ensaio, foram utilizados dois pluvi metro com volume d' gua conhecido e colocados pr ximos a  rea de teste. Ao final de cada teste fazia-se nova medi o do volume d' gua e, por diferen a, era conhecida a quantidade de  gua evaporada.

As dire es do vento, temperatura e umidade relativa do ar foram obtidos na esta o climatol gica do projeto de irriga o S o Gon alo, localizado ao lado da  rea de testes. A temperatura e a umidade relativa do ar foram lidos por meio de um termoigr grafo, instalado no abrigo meteorol gico da esta o.

Mediu-se, a intervalo de 15 minutos, a velocidade do vento, para analisar a influ ncia deste fator sobre a distribu o da  gua. Para essa medi o, usou-se um anem metro port til com totalizador, de marca Thies clima, graduado em m/s, instalado a 2,0 metros de altura em rela o ao solo.

A velocidade de rota o do aspersor foi calculada com a seguinte express o:

$$V_r = \frac{60}{T} \quad \text{Eq. 8}$$

onde:

$V_r$  = Velocidade de rota o (rpm);

$T$  = Tempo gasto para o aspersor completar uma revolu o (s).

Foi considerada velocidade de rota o do aspersor em um ensaio, a m dia de tr s repeti es.

Foram também determinadas as velocidades setoriais de rotação do aspersor nos quatro setores de 90 graus descritos pelo aspersor em cada volta completa, obtida também pela média de três repetições. Para isso usou-se a seguinte equação:

$$V_c = \frac{15}{T} \quad \text{Eq. 9}$$

onde:

$V_c$  = velocidade de rotação setorial (rpm);

$T$  = tempo gasto para o aspersor percorrer cada setor (s).

Em cada teste adotava-se o seguinte procedimento:

- a-) Colocação de todos os pluviômetros virados para baixo;
- b-) Colocação do sistema em funcionamento;
- c-) Ajuste da pressão de serviço desejada, por meio de registros de gaveta conectados na tubulação e determinação da pressão no bocal do aspersor, por meio de um manômetro acoplado a um tubo de pitot;
- d-) Determinação da vazão do aspersor;
- e-) Colocação dos pluviômetros em posição de trabalho, após o desligamento da bomba;
- f-) Início do teste, sistema novamente posto em funcionamento, inclusive o anemômetro e o termohigrógrafo;
- g-) Verificação da velocidade de rotação do aspersor, completa e setorial, com a ajuda de dois cronômetros;
- h-) Realização de leituras no anemômetro à intervalos de 15 minutos;
- i-) Verificação da pressão e da vazão do aspersor, após transcorrido o tempo de 90 minutos;

- j-) Desligamento da bomba;
- k-) Medição do conteúdo de cada pluviômetro com a utilização de provetas de 10, 25, 50 e 100ml e anotações em fichas apropriadas, como ilustra o Apêndice A.
- l-) No decorrer do teste determinavam-se: a velocidade e direção do vento; a temperatura e umidade relativa do ar.

### 5-) Análise dos dados

Um programa de computador desenvolvido pelo Centro Nacional de Engenharia Agrícola - CENEA, Sorocaba-SP, foi utilizado para efetuar os cálculos relativos a superposição e à determinação da uniformidade de distribuição da água baseado em dados de precipitação do aspersor e na simulação do sistema de irrigação por aspersão com vários espaçamentos.

A uniformidade de distribuição de água foi determinada através do coeficiente de uniformidade de Christiansen (Christiansen, 1942), que é dado pela seguinte expressão:

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - \bar{P}|}{n \cdot \bar{P}} \right) \quad \text{Eq. 10}$$

onde:

CUC = Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (%);

$P_i$  = Precipitação obtida em cada pluviômetro (mm);

$\bar{P}$  = Precipitação média (mm);

n = Número de dados de precipitação.

O ensaio foi planejado conforme delineamento experimental inteiramente ao acaso com parcelas sub-divididas, considerando-se, ainda, um fatorial nas parcelas. Foram consideradas como parcelas, a combinação de duas alturas do aspersor com quatro pressões de serviço, isto é, A1P1, A1P2, A1P3, A1P4, A2P1, A2P2, A2P3 e A2P4. Cada combinação, foi instalada para observações em três dias distintos (repetições) sorteados aleatoriamente dentro do período de realização do experimento. Em cada dia foram colhidas informações em três horários distintos (sub-parcelas), horário<sub>1</sub>, horário<sub>2</sub> e horário<sub>3</sub>.

Foi analisado o efeito da pressão de serviço, do espaçamento entre os aspersores e do espaçamento entre linhas laterais, da altura do tubo de elevação e da velocidade média do vento sobre a uniformidade de distribuição da água, sendo estabelecidas equações de regressão linear múltipla, utilizando-se o programa SAS (System Analysis Statistical 1985), disponível no departamento de informática da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA e no Departamento de Matemática da Universidade Federal da Paraíba - Campus II - UFFb, para estimar o coeficiente de uniformidade de Christiansen para as condições estudadas.

Na análise estatística, usou-se o teste  $t$  para a determinação da significância dos coeficientes de regressão e o teste  $F$  para as análises de variância. A análise de regressão foi feita em etapas (stepwise).



## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos no campo, são apresentados da seguinte forma no Apêndice B: Hora de realização do teste; Pressão de Serviço; Altura do tubo de elevação; Vazão média e velocidade média do aspersor; velocidade média do vento; umidade média relativa do ar; temperatura média e evaporação média.

No Apêndice B, observa-se que os valores coletados no campo, como também, altura do tubo de elevação e pressão do bocal do aspersor, variaram da seguinte maneira:

- a-) Velocidade do vento entre 0,51 e 4,18 m/s;
- b-) Temperatura do ar entre 24,3 e 34,64°C;
- c-) Umidade relativa do ar entre 26 e 78%;
- d-) Evaporação entre 0,27 e 1,83 mm;
- e-) Horário dos testes entre 7:00 e 15:00 horas;
- f-) Pressão do bocal do aspersor entre 200 a 350 Kpa (20 e 35 mca);
- g-) Tubo de elevação entre 1,00 e 2,00 m.

Verificou-se que os menores ventos foram obtidos no horário das 15:00 horas (Apêndice B), acarretando, com isto, melhores resultados para os coeficientes de uniformidade de Christiansen (Apêndice E).

Para uma boa uniformidade de distribuição, o aspersor deve percorrer os 360° relativos a seu giro completo de forma homogênea, gastando um tempo de rotação, aproximadamente, igual nos quatro quadrantes. O Apêndice C mostra que as diferenças de tempo de rotação nos quadrantes percorridos é de pequena

magnitude, não influenciando na uniformidade de distribuição da água.

A análise dos resultados dos coeficientes de uniformidade de Christiansen, feitas com o computador, eram listados da forma apresentada no Apêndice D, exemplificado através do ensaio C-10, entre os 72 realizados. Os resultados dos coeficientes de uniformidade de Christiansen em função da pressão (Kpa), altura do aspersor (m), espaçamento (m x m) e velocidade do vento (m/s), são apresentados no Apêndice E.

Para efetuar as superposições e os calculos dos coeficientes, usaram-se diferentes tipos de espaçamentos, ou seja, 12 x 12, 12 x 18, 18 x 18 e 18 x 24 m. Esse último, por apresentar valores do coeficiente de uniformidade muito pequeno, entorno de 20%, não foi considerado para análise neste trabalho.

Usando os valores de 72 testes e 216 observações, estabeleceu-se, por meio de dois modelos de análise de regressão linear múltipla, as seguintes equações:

1-) Equação geral ajustada considerando todas as variáveis do Apêndice E.

$$\begin{aligned} \text{CUC} = & 88,8342 + 0,0173 \text{ Pres} - 10,8952 \text{ AL} + 19,6797 \text{ VEN} - \\ & 0,6266 \text{ EA} \cdot \text{VEN} - 1,2152 \text{ EL} \cdot \text{VEN} + 0,9656 \text{ AL}^2 \cdot \text{VEN} + \\ & 0,2276 \text{ AL}^2 \cdot \text{EL} \end{aligned} \quad \text{Eq. 11}$$

Coeficiente de determinação:  $R^2 = 0,92$

2-) Equação para o espaçamento 12 x 12 m.

$$\text{CUC} = 87,0179 - 1,4582 \text{ VEN} \quad \text{Eq. 12}$$

Coeficiente de determinação:  $R^2 = 0,14$

3-) Equação para o espaçamento 12 x 18 m.

$$CUC = 94,97 - 9,7111 \cdot VEN \quad \text{Eq. 13}$$

Coeficiente de determinação:  $R^2 = 0,84$

4-) Equação para o espaçamento 18 x 18 m.

$$CUC = 95,08 - 13,5272 \cdot VEN \quad \text{Eq. 14}$$

Coeficiente de determinação:  $R^2 = 0,86$

onde:

CUC = Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%)

Pres = Pressão de serviço do aspersor (Kpa)

EA = Espaçamento entre aspersores (m)

EL = Espaçamento entre linhas de aspersores (m)

VEN = Velocidade média do vento (m/s)

AL = Altura do tubo de elevação do aspersor (m)

Os resultados das análises feitas para os testes de parâmetros e para a variância das regressões, são apresentados nos QUADROS (2 a 9).

Feita a análise de testes de parâmetros (QUADRO 2) dos dados em questão, verificou-se que todos os coeficientes, menos o relativo a Pressão de serviço, foram significativos a 1% de probabilidade. Sendo que, o coeficiente relativo a pressão, foi significativo a 5% de probabilidade.

Feita a análise de testes de parâmetros das equações de regressão para os espaçamentos (QUADROS 4, 6 e 8), verificou-se que somente a velocidade do vento foi significativo, entretanto, para o espaçamento 12 x 12 m, o nível de significância foi de 5% de probabilidade e para os espaçamentos 12 x 18 m e 18 x 18 m,

foi de 1% de probabilidade.

O valor encontrado para F nas análises de variância das regressões, foram significativos ao nível de 1% de probabilidade (QUADROS 3, 7 e 9), enquanto que, o valor F para análise de variância da regressão para o espaçamento 12 x 12 m, foi de 5% de probabilidade (QUADRO 5).

No QUADRO 10, são apresentados os quadrados médios para os fatores e interação envolvidos no experimento, fornecidos pela análise da variância, para o coeficiente de uniformidade de Christiansen, em cada espaçamento, bem como, os coeficientes de variação do ensaio a nível de parcela e sub-parcelas.

No QUADRO 11, são apresentamos as médias dos CUC'S por nível dos fatores, com respectivas diferenças mínimas significativas (DMS), calculadas pelo método de Tukey a 5% de probabilidade.

#### 1-) Influência da altura do tubo de elevação.

Para os espaçamentos 12 x 18 m e 18 x 18 m, evidenciou-se que os maiores coeficientes foram obtidos com o tubo de elevação a 2,00 m de altura (QUADRO 10), resultados semelhantes foram obtidos por Gomide (1978) e Medeiros Filho (1983).

Para o espaçamento 12 x 12 m a altura do tubo de elevação não teve influência (QUADROS 10 e 11). Este fato, explica que a ação da altura do tubo de elevação é menos pronunciada para pequenos espaçamentos, dentro dos limites de vento e pressão considerados neste trabalho.

A interação altura pressão apresentou significância a 1%

de probabilidade em todos os espaçamentos adotados, indicando que há diferenças de comportamentos do (CUC) em relação às alturas dentro de cada pressão ou vice-versa.

Para o espaçamento 12 x 12 m a interação altura X horário não apresentou significância estatística, porém, no espaçamentos 12 X 18 e 18 X 18 m essa interação apresentou significância a 5% e 1% de probabilidade respectivamente (QUADRO 10).

Apesar das interações pressão X altura e altura X pressão X horário terem significância estatística a nível de 5% de probabilidade, não se fez nenhum comentário relativo a elas devido a pouca informação prática.

As FIGURAS 7, 8, 9 e 10, mostram que o raio de alcance do aspersor é mais acentuado com tubos de elevação a 2,00 de altura, evidenciando que alturas a 2,00 m a água é melhor, distribuída. Gomide (1978) e Arruda (1981) apresentaram esta altura como a que proporcionou melhor uniformidade.

QUADRO 2 - Resultados da análise dos parâmetros estimados, envolvendo todas as variáveis estudadas.

Variável independente	Parâmetro estimado	Erro Padrão	T
Pres	0,017297	0,00784634	2,204 *
AL	-10,895188	3,55304512	-3,066 **
VEN	19,679725	2,35910606	8,342 **
EA x VEN	-0,289239	0,03721345	-16,838 **
EL x VEN	-1,215213	0,10236693	-11,871 **
AL <sup>2</sup> x VEN	0,965612	0,22452952	4,301 **
AL <sup>2</sup> x EL	0,227625	0,05040803	4,516 **
Intersecção	88,834199	7,50413941	11,838 *

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Coefficiente de determinação  $R^2 = 0,9245$

QUADRO 3 - Resultados da análise de variância da regressão envolvendo todas as variáveis estudadas.

Fonte	G.L.	SQ	QM	F
Devido à regr.	10	22554,53145	2255,46315	251,019 **
indep.da regr.	205	1841,96516	8,98520	

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 4 - Resultados da análise dos parâmetros estimados do espaçamento 12 x 12 m.

Variável independente	Parâmetro estimado	Erro padrão	T
VEN	-1,4582	0,43309	-3,367 *
Intersecção	87,0179	0,96904	89,790 **

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade

QUADRO 5 - Resultado da Análise de variância da regressão do espaçamento 12 x 12 m.

Fonte	G.L.	SQ	QM	F
Devido à regr.	1	86.3845	86.3845	11.3367 *
indep.da regr.	70	533.3932	7.6199	

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 6 - Resultados da análise dos parâmetros estimados do espaçamento 12 x 18 m.

Variável independente	Parâmetro estimado	Erro padrão	T
VEN	-9,7111	0,5098	-19,050 **
Intersecção	94,9674	1,1406	83,263 **

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

QUADRO 7 - Resultado da Análise de variância da regressão do espaçamento 12 x 18 m.

Fonte	G.L.	SQ	QM	F
Devido à regr.	1	3831.0617	3831.0617	362.9184 **
indep.da regr.	70	738.9383	10.5563	

\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO 8 - Resultados da análise dos parâmetros estimados do espaçamento 18 x 18 m.

Variável independente	Parâmetro estimado	Erro padrão	T
VEN	-13,5272	0,6518	-20,755 **
Intersecção	95,0799	1,4583	65,190 **

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade

QUADRO 9 - Resultado da Análise de variância da regressão do espaçamento 18 x 18 m.

Fonte	G.L.	SQ	QM	F
Devido à regr.	1	7433.6479	7433.6479	430.7560 **
indep.da regr.	70	1208.0049	17.2572	

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade.



## 2-) Influência do espaçamento dos aspersores.

Verificou-se que os maiores coeficientes de uniformidade foram obtidos para os espaçamentos menores (12 x 12m e 12 x 18m), confirmando os trabalhos de Gomide (1978), Ribeiro (1982) e Medeiros Filho (1983). O espaçamento 12 x 12 m, apresentou todos os coeficientes superiores a 80%, exceto para ventos acima de 4 m/s (Ver o Apêndice E).

Gomide (1978), Ribeiro (1982) e Medeiros Filho (1983), considerando o efeito combinado do vento e espaçamento na uniformidade de distribuição, citam que a uniformidade aumenta com a redução do espaçamento e/ou baixas velocidades do vento, sendo esse aumento causado, pela melhor superposição dos jatos d'água.

No espaçamento 12 x 18 m, os coeficientes de uniformidade foram, de certa forma, superiores a 80% para ventos menores ou iguais a 1,20 m/s e abaixo de 80%, para ventos superiores a 1,20 m/s, isto, para tubos de elevação de 1,00 m. Para tubos de elevação a 2,00 m, os coeficientes foram superiores a 80% para ventos menores que 1,70 m/s (Ver Apêndice E).

No espaçamento 18 x 18 m, de maneira geral, todos os coeficientes foram inferiores a 80%, sendo que, para ventos menores que 1,00 m/s e tubo de subida a 1,00 m, os coeficientes foram superiores a 80%. Não obstante, para tubos de elevação a 2,00 m e ventos menores ou iguais a 1,20 m/s, os coeficientes foram maiores que 80%. (Ver tabelas no Apêndice E)

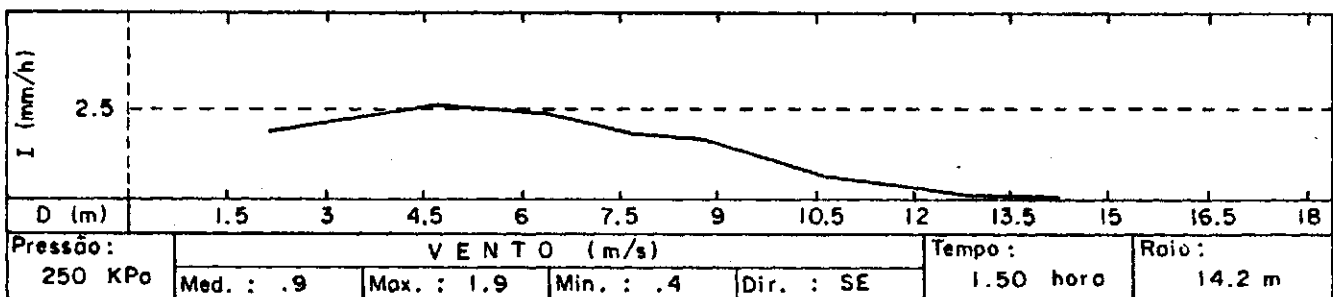
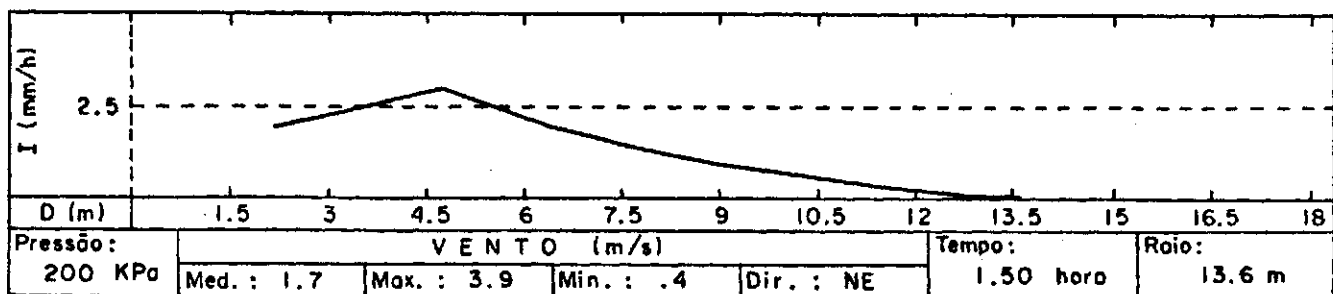


FIGURA 7 - Intensidade de aplicação (I) em função da distância em relação ao aspersor (D), obtida com tubo de elevação a 1,00 m, pressão de serviço de 200 e 250 Kpa, bocal de 4,8 mm, em duas condições de vento.

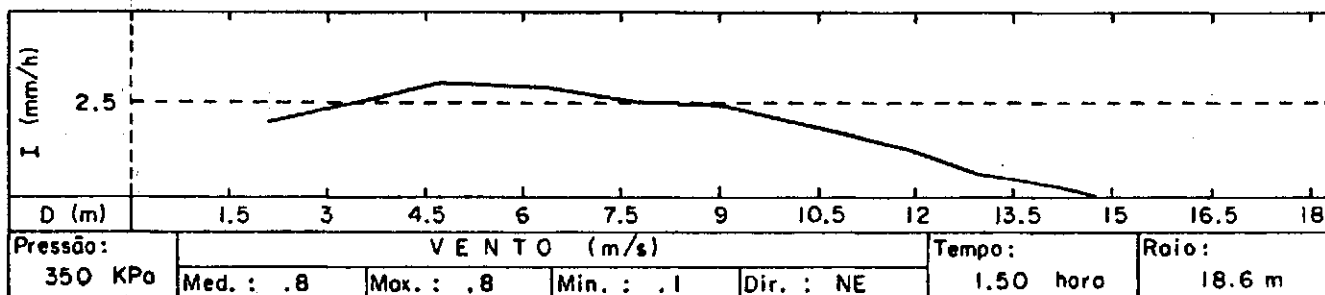
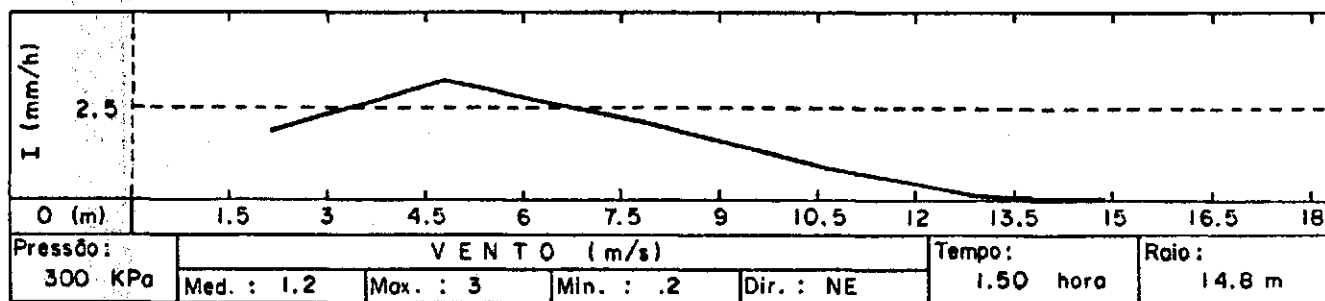


FIGURA 8 - Intensidade de aplicação (I) em função da distância em relação ao aspersor (D), obtida com tubo de elevação a 1,00 m, pressão de serviço de 300 e 350 kpa, bocal de 4,8 mm, em duas condições de vento.

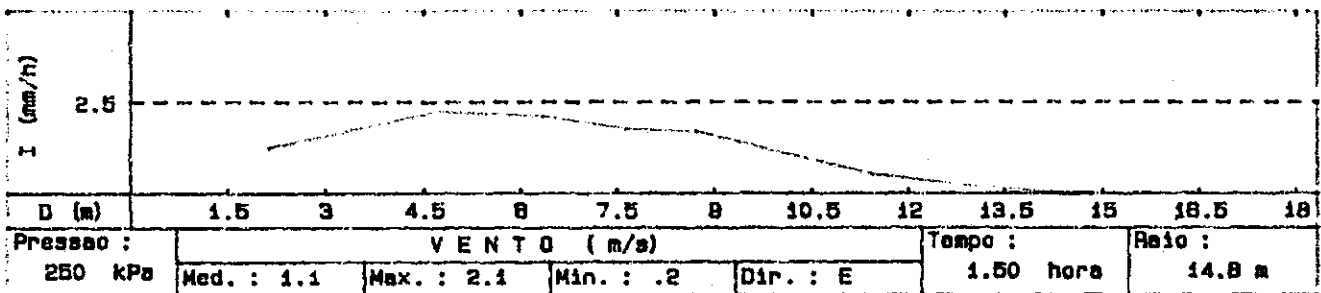
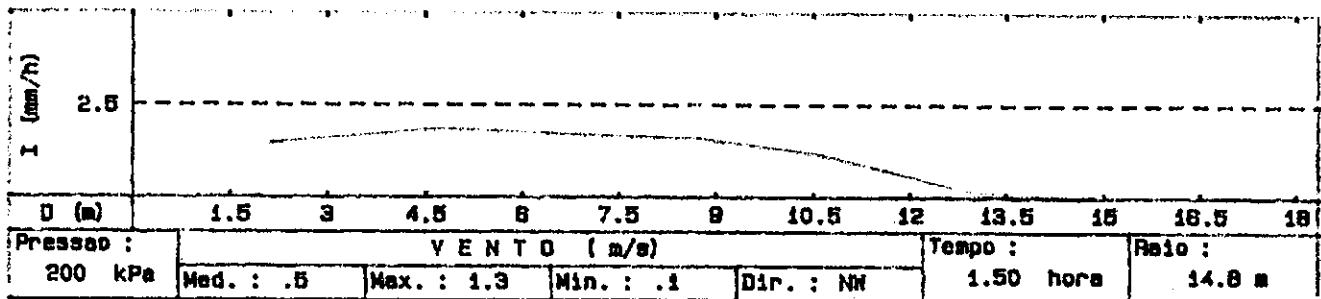


FIGURA 9 - Intensidade de aplicação (I) em função da distância em relação ao aspersor (D), obtida com tubo de elevação a 2,00 m, pressão de serviço de 200 e 250 Kpa, bocal de 4,8 mm, em duas condições de vento.

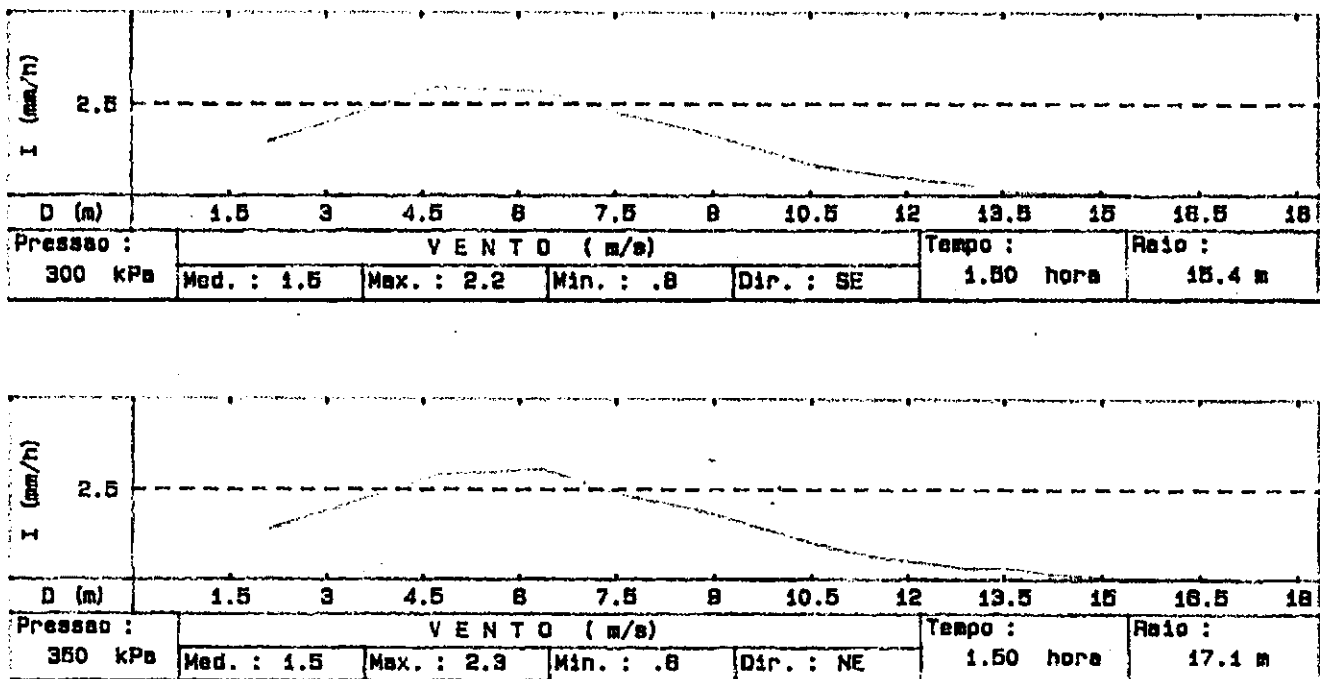


FIGURA 10 - Intensidade de aplicação (I) em função da distância em relação ao aspersor (D), obtida com tubo de elevação a 2,00 m, pressão de serviço de 300 e 350 Kpa, bocal de 4,8 mm, em duas condições de vento.

QUADRO 10 - Quadrados médios para os fatores e interação envolvidos no experimento, fornecidos pela análise da variância, para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), em cada espaçamento.

Fonte de variação	G.L.	Quadrados médios		
		E s p a ç a m e n t o (m)		
		12 x 12	12 x 18	18 x 18
Altura (AL)	1	2,000	813,3889**	1.634,0139**
Pressão (Pres)	3	10,2593	115,5185	310,6806*
Interação (AL x Pres)	3	37,6667**	241,2037**	533,1250**
Resíduo (a)	16	6,7917	44,2361	74,1806
Horário (H)	2	22,2639	350,0417**	557,7639**
Interação (AL x H)	2	21,2917	64,5972*	200,0972**
Interação (Pres x H)	6	4,0787	55,3380*	59,4861
Inter.(AL x Pres x H)	6	4,8472	35,6343	73,4861*
Resíduo (b)	32	7,0208	18,8611	30,4931
Cv (a) (%)		3,1	8,8	12,9
Cv (b) (%)		3,2	5,8	8,3

\*\* - Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

\* - Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Cv - Coeficiente de Variação.

### 3-) Influência da pressão de serviço

Para o fator pressão, observou-se que o mesmo não apresentou efeito estatístico significativo, quando posto em prática os espaçamentos 12 x 12 m e 12 x 18 m. Contudo, no espaçamento 18 x 18 m foi identificado uma significância de 5% de probabilidade pelo teste F (QUADRO 10).

No confronto das médias pelo método de Tukey a 5% de probabilidade, apenas a média da Pressão<sub>3</sub> diferiu da Pressão<sub>4</sub> para o espaçamento 18 x 18 m, conforme mostrado no QUADRO 11.

### 4-) Influência do horário.

Com relação ao fator horário, no espaçamento 12 x 12 m, não apresentou diferenças estatísticas significativas. Porém, nos outros dois espaçamentos, o efeito do horário foi detectado com significância de 1% de probabilidade. Quando as médias dos CUC's nos horários foram comparadas, notou-se que o horário<sub>3</sub> superou o horário<sub>1</sub> e o horário<sub>2</sub>, enquanto que o horário<sub>2</sub> e o horário<sub>1</sub> não diferiram entre si (Ver Quadro 10 e 11).

QUADRO 11 - Médias estimadas dos coeficientes de Christiansen (CUC), em cada espaçamento.

F o n t e	Médias dos coeficientes de uniformidade		
	E s p a ç a m e n t o (m)		
	12 x 12	12 x 18	18 x 18
Altura <sub>1</sub> (1,0 metro)	83,1 a	71,1 b	61,8 b
Altura <sub>2</sub> (2,0 metros)	83,8 a	77,9 a	71,3 a
Pressão <sub>1</sub> (200 Kpa)	83,5 a	71,4 a	61,5 b
Pressão <sub>2</sub> (250 Kpa)	85,1 a	76,6 a	69,0 ab
Pressão <sub>3</sub> (300 Kpa)	83,8 a	76,6 a	70,8 a
Pressão <sub>4</sub> (350 Kpa)	83,4 a	73,4 a	65,0 ab
Horário <sub>1</sub> (7:00 h)	82,3 a	72,8 b	65,1 b
Horário <sub>2</sub> (11:00 h)	84,5 a	71,8 b	62,7 b
Horário <sub>3</sub> (15:00 h)	84,5 a	78,9 a	72,0 a
DMS (Altura)	1,3	3,3	4,3
DMS (Pressão)	2,5	6,3	8,2
DMS (Horário)	1,9	3,1	3,9

\* - Médias seguidas por letras distintas diferem entre si.  
DMS - Diferença mínima significativa calculada pelo método de Tukey a 5% de probabilidade.



### 5-) Influência da velocidade do vento.

A velocidade do vento e a uniformidade de distribuição relacionaram-se inversamente, com exceção do espaçamento 12 x 12 m, (Ver Apêndice E e Figura 11 e 12), confirmado, pela regressão linear que este espaçamento apresentou, com coeficiente de determinação de  $R^2 = 0,14$ . Tal relação era, de certa maneira, esperada, tendo em vista os resultados obtidos por Christiansen (1942), Medeiros Filho (1983). Este fato pode ser explicado considerando-se que a ação do vento é menos pronunciado para pequenos espaçamentos, como se verifica pelos altos coeficientes de uniformidade obtidos (Ver Apêndice E).

Para os espaçamentos 12 x 18 m e 18 x 18 m, os parâmetros coeficientes de Christiansen e velocidade do vento, apresentaram uma maior correlação, indicando que o efeito do vento é bastante expressivo, confirmado, pelas equações de regressão destes espaçamentos. Desta forma, seus respectivos coeficientes de determinação tem os seguintes valores:  $R^2 = 0,84$  e  $R^2 = 0,86$ . Resultado similar foi observado por Medeiros Filho (1983).

Os espaçamentos 12 x 18 m e 18 x 18 m apresentaram coeficientes de Christiansen maiores que o espaçamento 12 x 12 m, quando a velocidade média do vento foi inferior a 1,1 m/s (Ver o Apêndice E e Figuras 11 e 12). Conclusão similar foi obtida por Gomido (1978). Este efeito pode ser explicado considerando-se ocorrências de superposições de segunda ou terceira ordem, o que possivelmente originou um perfil de distribuição final mais irregular do que aqueles originado pelos espaçamentos 12 x 18 m e 18 x 18 m.

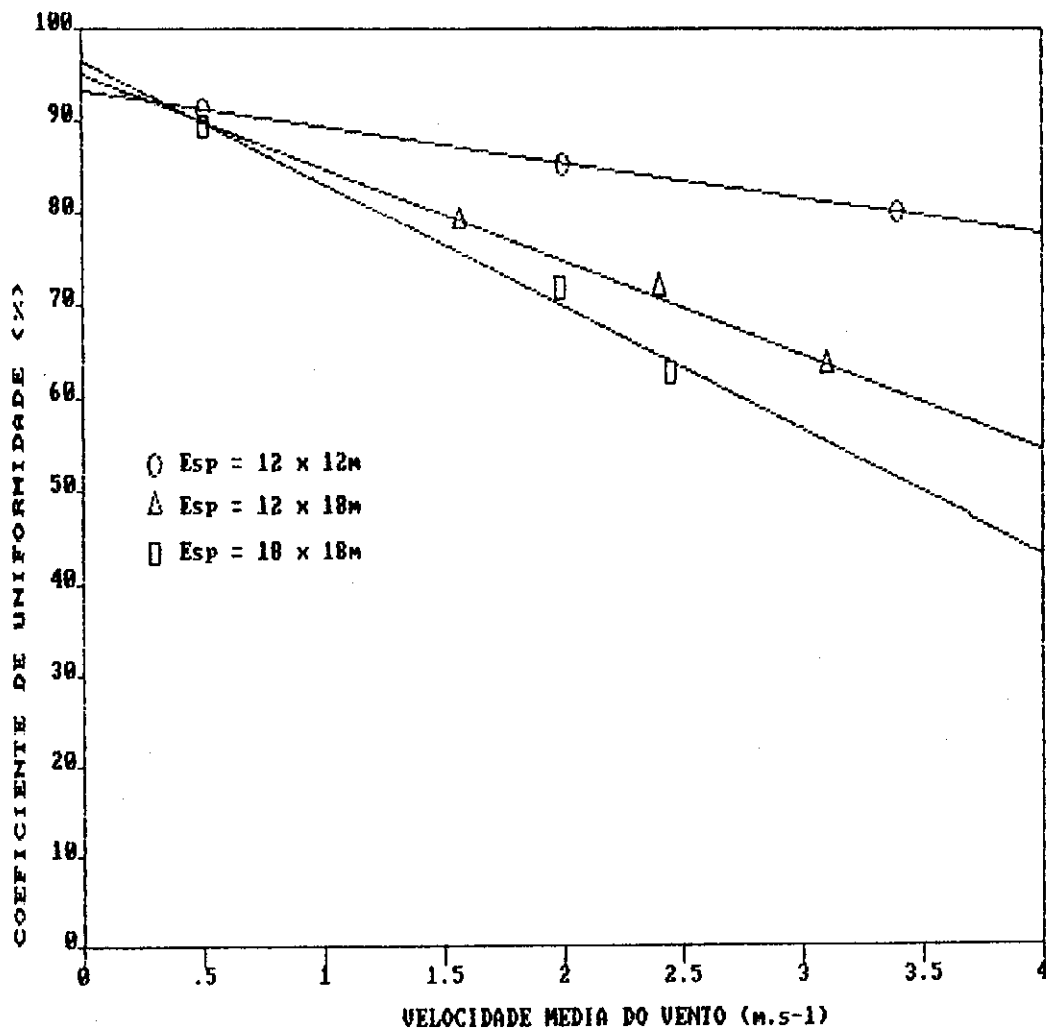


FIGURA 11 - Estimativa do coeficiente de uniformidade de Christiansen, em função da velocidade do vento, para os diferentes espaçamentos dos aspersores, com o tubo de subida a 1,00 m.

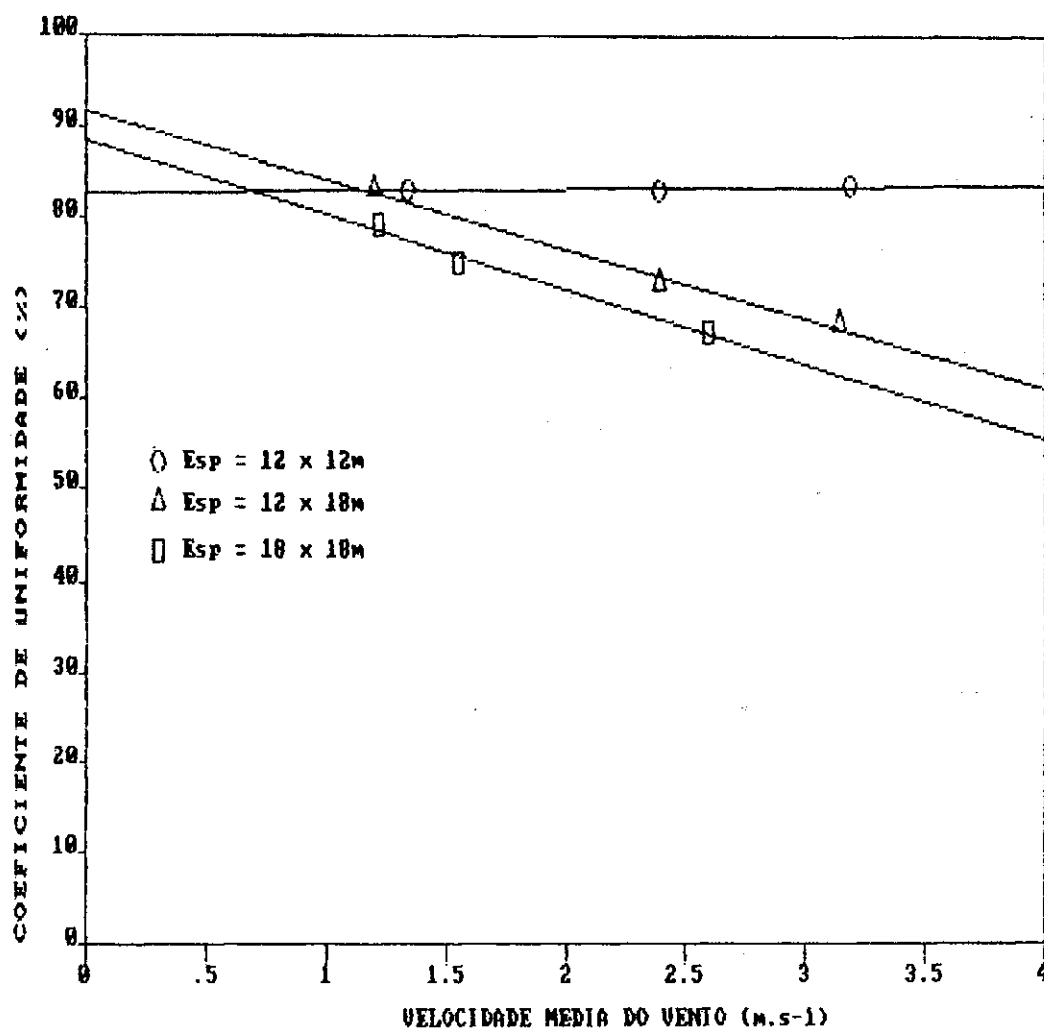


FIGURA 12 - Estimativa do coeficiente de uniformidade de Christiansen, em função da velocidade do vento, para os diferentes espaçamentos dos aspersores, com o tubo de subida a 2,00 m.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise dos resultados permite concluir e recomendar, nas condições do experimento, o seguinte:

1-) As equações de regressão obtidas permitem estimar com adequada precisão os coeficientes de uniformidade de Christiansen, exceto a equação de regressão para o espaçamento 12 x 12 m, devido ao baixo valor do coeficiente de determinação;

2-) Maiores coeficientes de uniformidades foram obtidos quando se usou tubo de elevação a 2,00 m de altura, para os espaçamentos 12 x 18 e 18 x 18 m. Isto foi verificado para qualquer velocidade de vento dentro dos limites estudados;

3-) O espaçamento 12 x 12 m não foi influenciado pela altura do tubo de elevação, dentro das velocidades de vento testadas;

4-) A redução do espaçamento entre aspersores e linhas de aspersores, promove melhor uniformidade da água e reduz efeito do vento;

5-) Os coeficientes de uniformidade de Christiansen fornecidos pelos espaçamentos 12 x 18 m e 18 x 18 m, não foram adequados, pois originaram uma distribuição de água bastante irregular, apresentando valores médios abaixo de 80%;

6-) As diferenças de tempo de rotação nos quadrantes percorridos pelo aspersor foi de pequena magnitude, não influenciando na

uniformidade de distribuição da água;

7-) Para os espaçamentos  $12 \times 12$  m e  $12 \times 18$  m, a pressão não foi significativa, contudo, no espaçamento  $18 \times 18$  m foi identificado uma significância ao nível de 5% de probabilidade;

8-) Em geral, a uniformidade de distribuição de água diminui com o aumento da velocidade do vento, relacionando-se inversamente, com exceção do espaçamento  $12 \times 12$  m, para ventos de até 4,0 m/s;

9-) Para as condições de clima do Perímetro Irrigado de São Gonçalo e para as especificações do sistema de aspersão avaliado, recomenda-se o uso do espaçamento dos aspersores de  $12 \times 12$  m, cujos coeficientes de uniformidade de Christiansen, apresentaram valores médios acima de 80%. Recomenda-se também, para as mesmas condições acima citada, fazer irrigações no Período da tarde;

10-) Para obter coeficientes acima de 80%, recomendam-se os seguintes espaçamentos: com tubos de elevação a 1,00 m, os espaçamentos  $12 \times 12$  m,  $12 \times 18$  m e  $18 \times 18$ , deverão trabalhar respectivamente nas velocidades de vento  $\leq 4,0$ ;  $\leq 1,2$  e  $\leq 1,0$  m/s; e, para tubos de elevação a 2,00 m, as velocidades de vento indicadas são  $\leq 4,0$ ,  $\leq 1,7$  e  $\leq 1,20$  m/s, respectivamente.

REFERÊNCIAS  
BIBLIOGRÁFICAS

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 1-) ARRUDA, N. T. Análise de Uniformidade da distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão em linha. Viçosa, Impr. Univ., 87p. 1981 (tese de mestrado).
- 2-) BARRETO, G. B. Irrigação-Princípios, Métodos e Prática. Campinas, São Paulo, Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1986. 185p.
- 3-) BENAMI, A. e MORE, F. R. A New Irrigation-sprinkler distribution Coefficient. trans. of the ASAE, 7(2): 157-158, 1964.
- 4-) BERNARDO, S. Manual de Irrigação. 4ª. ed. Viçosa: Impr. Univ., 1987. 488p.
- 5-) CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. University of Califórnia, Berkely, 1942. 124p. (Bull. n. 670).
- 6-) CHRISTIANSEN, J. E. e DAVIS, J. R. Sprinkler Irrigation Systems. In: Irrigation Agricultural Lands (HAGAGN, R.M.; NAISE, N.R. e EDMINSTER, T. W. ed.) 885-904p., 1966.
- 7-) DAKER, A. A água na Agricultura, 3º Volume. Irrigação e drenagem, 6ª. ed., Rio de Janeiro, Editora Freitas Bastos S.A., 1983, 543p.
- 8-) DAVIS, J.R. Measuring water distribution from sprinklers. transaction of the ASAE. St. Joseph, 9(1): 94-97, 1966.
- 9-) FERREIRA, E. Relações entre Métodos para determinação da Uniformidade de distribuição em irrigação por aspersão. Porto Alegre, U.F.R.G.S. 1976. 103p. (tese de mestrado).

- 10-) GOMIDE, R.L. Determinação e análise da Uniformidade de distribuição da Água no sistema de irrigação por aspersão. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1978. 87p. (tese de mestrado).
- 11-) HOWELL, D.T. Nonuniformity and sprinkler application efficiency. Journal of Irrigation and Drainage Division ASCE. Ann Arbor, 90(3): 41-53, 1964.
- 12-) LOPEZ, J. Riego por Aspersión. Centro de treinamento em Irrigação, Petrolina, Pernambuco, SUDENE, Convênio MINTER-IICA, julho, 1975.
- 13-) MARQUELLI W.A. Escolhas de aspersores e manejo de sistemas Convencionais sob condições de vento. Revista ITEM, Brasília, 39: 19-21, 1989.
- 14-) MEDEIROS Filho, J.C. Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão em uma área do município de Mossoró-RN. Campina Grande, U.F.P.B. 1983. 79p. (tese de mestrado).
- 15-) MATSURA, E.E. Eficiência de irrigação e uniformidade de distribuição em sistemas de irrigação por aspersão. Piracicaba, E.S.A.L.O., 1987. 124p. (tese de mestrado).
- 16-) MERRIAN, J.L. e KELLER, J. Farm Irrigation Systems Evolution: A Guide for management. Logan, Utah, Utah State University, 1978. 271p.
- 17-) OLITTA, A.F.L. Os Métodos de Irrigação. São Paulo, Livraria Nobel S.A., 1984. 267p.
- 18-) PAIR, C.H. Water Distribution Under Sprinkler Irrigation: Transaction of the ASAE. 11(5): 648-651, 1968.
- 19-) PILLSBURY, A.F. El Empleo del Riego for Aspersión. Roma, FAO, 1968. 188p.



- 20-) RAPOSO, J.R. A Rega por Aspersão 1ª ed. Lisboa, Clássica Editora, 1980. 339p.
- 21-) RIBEIRO, L.M. Avaliação do sistema de irrigação por aspersão através de modelo linear. Fortaleza, U.F.C., 1982. 89p. (tese de mestrado).
- 22-) SATTO, J. Avaliação do desempenho dos aspersores. São Carlos, U.S.P., 1978. 77p. (tese de mestrado).
- 23-) SAS USER'S GUIDE: Statistics Version 5 Edition Cary, North Caroline. 1985.
- 24-) SCALOPPI, E.J. Eficiência de aplicação de água em sistema de irrigação por aspersão. Revista Item, Brasília, 16: 37-40, 1984.
- 25-) VIEIRA, D.B. As técnicas de Irrigação. São Paulo, Editora globo, 1989. 263p.
- 26-) WALKER, W.R. Explicit sprinkler irrigation uniformity: efficiency model. Journal of the Irrigation and Drainage Division ASCE, 105(2): 129-136, 1979.
- 27-) WITHERS, B. e VIFOND, S. Irrigação: Projeto e Prática. São Paulo, Livraria Nobel, S.A., 1986. 339p.

A P E N D I C E

APÉNDICE A

FICHAS UTILIZADAS PARA ANOTAÇÕES DOS DADOS DE CAMPO.



## DADOS DA ESTAÇÃO METEOROLÓGICA

Temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) : Início: 32,8. Média: 32,0. Final: 32,2

Umidade relativa do ar (%) : Início: 39%. Média: 37%. Final: 36%

Distância do vento a 0,45m (km) : Início:     . Média:     . Final:     

## VELOCIDADE DO VENTO A 2,0m

Dados lidos	Instante (min)						
	0	15	30	45	60	75	90
Velocidade (m/s)	0,8	0,8	0,4	0,5	0,5	0,1	0,5

Observações:  $V_m = 0,51 \text{ m/s}$

$V_{m/n} = 0,1 \text{ m/s}$

$V_{m\bar{x}} = 0,8 \text{ m/s}$

Teste nº 10C Data: 27 / 08 / 90

Hora: Início: 15:00. Término: 16:30



APÊNDICE B

TABELA DOS DADOS COLETADOS EM CADA ENSAIO.

Tabela - 1: Dados coletados em cada ensaio.

Teste Nº	Hora	Pres. Serv. (Kpa)	AL do Tubo Elev. ( m )	Vazão Média do Ásper. (l/s)	Veloc. Média Rotaç. Ásper. (rpm)	Veloc. Média do Vento (m/s)	U.R. Média (%)	Temp. Média (°C)	Evap. Média (mm)
1A	7:00	200	1,00	0,34	0,60	2,44	78,0	24,3	0,27
1B	11:00	200	1,00	0,34	0,54	3,00	60,5	28,6	0,57
1C	15:00	200	1,00	0,34	0,56	1,98	36,6	31,0	0,71
2A	7:00	200	1,00	0,33	0,56	3,10	68,7	25,3	0,55
2B	11:00	200	1,00	0,34	0,55	3,40	45,3	30,6	1,28
2C	15:00	200	1,00	0,34	0,53	2,67	38,7	33,1	0,69
3A	7:00	200	1,00	0,34	0,56	3,47	66,0	24,0	0,64
3B	11:00	200	1,00	0,34	0,55	4,18	41,7	29,5	1,08
3C	15:00	200	1,00	0,33	0,60	2,99	32,0	32,3	1,10
4A	7:00	250	1,00	0,37	0,60	1,22	64,0	24,8	0,69
4B	11:00	250	1,00	0,37	0,58	2,25	39,7	31,2	1,55
4C	15:00	250	1,00	0,38	0,59	2,20	26,0	34,0	0,91
5A	7:00	250	1,00	0,38	0,59	2,39	54,6	24,9	0,91
5B	11:00	250	1,00	0,38	0,67	3,31	31,3	30,8	1,46
5C	15:00	250	1,00	0,38	0,55	1,57	29,0	34,0	0,97
6A	7:00	250	1,00	0,38	0,58	1,31	39,7	24,4	0,64
6B	11:00	250	1,00	0,38	0,57	2,79	41,7	30,5	1,52
6C	15:00	250	1,00	0,39	0,57	2,25	28,3	33,0	0,97
7A	7:00	300	1,00	0,42	0,57	1,47	61,3	24,6	0,55
7B	11:00	300	1,00	0,42	0,55	2,87	45,0	30,2	1,33
7C	15:00	300	1,00	0,42	0,55	2,00	40,0	31,5	0,91



Continuação...

Teste NO	Hora	Pres. Serv. (Kpa)	AL do Tubo Elev. ( m )	Vazão Média do Asper. (l/s)	Veloc. Média Rotac. Asper. (rpm)	Veloc. Média do Vento (m/s)	U.R. Média (%)	Temp. Média ( $^{\circ}$ C)	Evap. Média (mm)
8A	7:00	300	1,00	0,42	0,58	1,90	57,0	24,4	0,55
8B	11:00	300	1,00	0,42	0,58	2,26	43,3	30,2	1,24
8C	15:00	300	1,00	0,42	0,57	1,99	33,3	32,9	1,10
9A	7:00	300	1,00	0,42	0,58	1,94	61,7	24,7	0,55
9B	11:00	300	1,00	0,43	0,60	2,48	42,3	30,1	1,37
9C	15:00	300	1,00	0,43	0,55	1,20	36,7	33,3	1,10
10A	7:00	350	1,00	0,46	0,56	2,45	70,7	24,9	0,55
10B	11:00	350	1,00	0,46	0,56	2,00	62,7	27,3	0,64
10C	15:00	350	1,00	0,46	0,56	0,51	37,3	32,3	0,55
11A	7:00	350	1,00	0,46	0,56	3,10	69,3	25,0	0,64
11B	11:00	350	1,00	0,46	0,53	2,40	48,7	30,2	1,27
11C	15:00	350	1,00	0,46	0,48	2,17	35,0	32,9	1,10
12A	7:00	350	1,00	0,46	0,52	3,20	73,0	24,3	0,69
12B	11:00	350	1,00	0,46	0,50	2,35	44,0	30,3	1,46
12C	15:00	350	1,00	0,45	0,50	1,20	27,7	33,3	1,10
13A	7:00	200	2,00	0,34	0,63	1,65	69,3	24,3	0,73
13B	11:00	200	2,00	0,34	0,56	2,40	40,5	30,8	1,64
13C	15:00	200	2,00	0,33	0,54	1,70	31,5	33,3	0,97
14A	7:00	200	2,00	0,34	0,65	1,24	61,0	25,0	0,64
14B	11:00	200	2,00	0,34	0,60	1,22	34,3	31,2	1,64
14C	15:00	200	2,00	0,34	0,60	1,17	26,0	34,5	0,87

Continuação...

Teste Nº	Hora	Pres. Serv. (Kpa)	AL do Tubo Elev. ( m )	Vazão Média do Asper. (l/s)	Veloc. Média Rotac. Asper. (rpm)	Veloc. Média do Vento (m/s)	U.R. Média (%)	Temp. Média (°C)	Evap. Média (mm)
15A	7:00	200	2,00	0,33	0,60	2,39	66,0	24,5	0,60
15B	11:00	200	2,00	0,33	0,60	1,32	35,0	31,2	1,64
15C	15:00	200	2,00	0,34	0,60	1,20	23,3	34,5	1,00
16A	7:00	250	2,00	0,38	0,59	1,65	71,0	24,0	0,73
16B	11:00	250	2,00	0,39	0,59	1,65	38,0	31,2	1,33
16C	15:00	250	2,00	0,38	0,59	1,55	28,5	34,0	0,59
17A	7:00	250	2,00	0,38	0,63	2,60	67,5	25,7	0,73
17B	11:00	250	2,00	0,38	0,63	1,54	41,7	31,3	1,55
17C	15:00	250	2,00	0,39	0,64	1,11	27,0	34,0	1,09
18A	7:00	250	2,00	0,38	0,66	1,65	68,7	25,0	0,73
18B	11:00	250	2,00	0,38	0,66	1,55	40,7	31,2	1,19
18C	15:00	250	2,00	0,38	0,65	1,20	28,5	33,1	1,00
19A	7:00	300	2,00	0,42	0,63	1,64	61,0	24,5	0,60
19B	11:00	300	2,00	0,42	0,66	1,31	40,9	30,8	1,19
19C	15:00	300	2,00	0,42	0,63	1,34	29,6	33,2	1,10
20A	7:00	300	2,00	0,42	0,63	2,77	63,5	24,6	0,47
20B	11:00	300	2,00	0,42	0,58	2,39	33,5	30,6	1,55
20C	15:00	300	2,00	0,42	0,58	1,14	22,3	33,7	1,00
21A	7:00	300	2,00	0,42	0,56	2,59	70,0	24,3	0,73
21B	11:00	300	2,00	0,42	0,52	1,34	41,0	31,0	1,64
21C	15:00	300	2,00	0,42	0,47	1,33	27,5	33,3	1,24

Continuação...

Teste	Hora	Pres. Serv.	AL do Tubo Elev.	Vazão Média do Asper.	Veloc. Média Rotac. Asper.	Veloc. Média do Vento	U.R. Média	Temp. Média	Evap. Média
Nº		(Kpa)	( m )	(l/s)	(rpm)	(m/s)	(%)	(°C)	(mm)
22A	7:00	350	2,00	0,45	0,44	2,54	67,7	24,8	0,73
22B	11:00	350	2,00	0,46	0,41	1,63	40,5	30,7	1,52
22C	15:00	350	2,00	0,46	0,56	2,75	27,3	33,7	1,28
23A	7:00	350	2,00	0,46	0,66	2,95	70,7	25,2	0,82
23B	11:00	350	2,00	0,46	0,51	3,14	40,0	31,5	1,52
23C	15:00	350	2,00	0,46	0,38	1,19	26,5	34,0	1,05
24A	7:00	350	2,00	0,46	0,47	3,01	71,7	25,7	0,91
24B	11:00	350	2,00	0,45	0,40	2,70	43,5	31,9	1,83
24C	15:00	350	2,00	0,46	0,53	3,19	28,0	34,6	1,28

APÊNDICE C

VELOCIDADE DE ROTAÇÃO SETORIAL DO ASPERSOR.

Tabela - 2:  
 Velocidade de rotação do aspersor, em número de rotações por minuto (rpm), dentro de setores de 90 graus, a partir do Norte Magnético no sentido dextrógiro.

Teste Nº	Horário	S E T O R E S			
		0 - 90	90 - 180	180 - 270	270 - 360
1A	7:00	0,53	0,59	0,67	0,65
1B	11:00	0,53	0,59	0,53	0,63
1C	15:00	0,54	0,64	0,59	0,62
2A	7:00	0,55	0,61	0,60	0,62
2B	11:00	0,52	0,63	0,55	0,60
2C	15:00	0,54	0,57	0,57	0,54
3A	7:00	0,54	0,58	0,61	0,59
3B	11:00	0,54	0,56	0,56	0,55
3C	15:00	0,59	0,63	0,61	0,61
4A	7:00	0,62	0,62	0,58	0,60
4B	11:00	0,57	0,61	0,56	0,59
4C	15:00	0,60	0,58	0,61	0,58
5A	7:00	0,60	0,64	0,58	0,58
5B	11:00	0,65	0,66	0,66	0,67
5C	15:00	0,55	0,55	0,54	0,56
6A	7:00	0,57	0,60	0,57	0,57
6B	11:00	0,61	0,63	0,57	0,55
6C	15:00	0,59	0,56	0,55	0,57
7A	7:00	0,58	0,60	0,56	0,56
7B	11:00	0,55	0,55	0,56	0,56
7C	15:00	0,58	0,53	0,53	0,54

Continuação:

Teste Nº	Horário	S E T O R E S			
		0 - 90	90 - 180	180 - 270	270 - 360
8A	7:00	0,57	0,57	0,57	0,57
8B	11:00	0,59	0,59	0,57	0,58
8C	15:00	0,55	0,59	0,57	0,58
9A	7:00	0,59	0,59	0,59	0,57
9B	11:00	0,60	0,62	0,58	0,59
9C	15:00	0,54	0,55	0,55	0,55
10A	7:00	0,56	0,57	0,56	0,57
10B	11:00	0,54	0,56	0,53	0,56
10C	15:00	0,55	0,56	0,56	0,56
11A	7:00	0,56	0,57	0,55	0,56
11B	11:00	0,54	0,56	0,50	0,54
11C	15:00	0,48	0,46	0,47	0,49
12A	7:00	0,53	0,54	0,49	0,50
12B	11:00	0,52	0,49	0,50	0,50
12C	15:00	0,51	0,49	0,48	0,49
13A	7:00	0,65	0,62	0,61	0,64
13B	11:00	0,60	0,55	0,56	0,58
13C	15:00	0,56	0,53	0,52	0,55
14A	7:00	0,65	0,63	0,65	0,63
14B	11:00	0,63	0,59	0,59	0,61
14C	15:00	0,63	0,57	0,58	0,61
15A	7:00	0,64	0,61	0,62	0,60
15B	11:00	0,59	0,58	0,59	0,64
15C	15:00	0,63	0,58	0,59	0,61

Continuação:

Teste Nº	Horário	S E T O R E S			
		0 - 90	90 - 180	180 - 270	270 - 360
16A	7:00	0,63	0,56	0,55	0,60
16B	11:00	0,61	0,59	0,57	0,62
16C	15:00	0,64	0,53	0,56	0,63
17A	7:00	0,66	0,60	0,61	0,63
17B	11:00	0,66	0,59	0,62	0,63
17C	15:00	0,65	0,58	0,63	0,64
18A	7:00	0,69	0,66	0,67	0,68
18B	11:00	0,70	0,60	0,62	0,66
18C	15:00	0,70	0,61	0,63	0,65
19A	7:00	0,68	0,59	0,65	0,65
19B	11:00	0,72	0,61	0,65	0,65
19C	15:00	0,68	0,58	0,61	0,62
20A	7:00	0,70	0,57	0,64	0,61
20B	11:00	0,60	0,57	0,58	0,59
20C	15:00	0,61	0,56	0,59	0,60
21A	7:00	0,63	0,56	0,54	0,54
21B	11:00	0,53	0,52	0,50	0,54
21C	15:00	0,48	0,45	0,46	0,48
22A	7:00	0,50	0,42	0,45	0,45
22B	11:00	0,41	0,42	0,41	0,44
22C	15:00	0,62	0,52	0,54	0,55
23A	7:00	0,68	0,64	0,65	0,65
23B	11:00	0,53	0,48	0,50	0,49
23C	15:00	0,40	0,32	0,35	0,36

Continuação:

Teste Nº	Horário	S E T O R E S			
		0 - 90	90 - 180	180 - 270	270 - 360
24A	7:00	0,53	0,44	0,44	0,47
24B	11:00	0,42	0,37	0,43	0,40
24C	15:00	0,54	0,53	0,52	0,55



APÉNDICE D

SAÍDA DO PROGRAMA DE COMPUTADOR COM OS CÁLCULOS  
DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN.

CENTRO NACIONAL DE ENGENHARIA AGRICOLA  
CAIXA POSTAL 568 - CEP 18100 - SOROCABA - SP - TEL (0152) 33-1333

ANALISE DA DISTRIBUICAO DE AGUA DE ASPERSORES

ENSAIO No. : C-10 REALIZADO EM : 27/08/90

FABRICANTE: SAMOTO MODELO: AJ25A1 BOCAL : 4.8 mm PRESSAO NA BASE: 350 kPa TEMPO DE OPERACAO: 1.5 hora

VAZAO: .46 l/s VENTO MEDIO: .6 m/s (MAX: .8 ; MIN: .1) ESPACAMENTO ENTRE COLETORES: 3 x 3 DIAMETRO DOS COLETORES: 33.5mm

DADOS OBTIDO NO ENSAIO cm3

0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0	**	4.0	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.6	13.0	15.0	**	14.0	10.0	6.5	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	17.0	22.5	22.5	**	22.0	17.5	12.8	6.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	13.7	21.5	23.0	25.0	**	26.0	23.0	18.0	11.5	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	16.2	20.5	22.5	34.0	**	34.5	22.0	20.4	13.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0
*****																		
0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	16.0	22.0	24.0	30.0	**	30.2	24.0	22.0	13.5	2.6	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	3.2	15.5	24.0	26.0	28.0	**	26.0	23.5	19.8	10.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	17.0	24.2	17.0	**	23.0	19.0	13.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	.6	4.0	9.5	15.0	**	13.0	11.8	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	**	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

NUMERO DE COLETORES QUE RECEBERAM AGUA: 78

LAMINA TOTAL COLETADA: 205.53 mm

LAMINA MEDIA COLETADA: 2.64 mm

LAMINAS OBTIDAS APOS SOBREPOSICAO RETANGULAR (mm)

ESPACAMENTO 12 x 12 metros TEMPO DE OPERACAO - 1 hora

7.88	7.49	8.09	8.39
8.74	9.98	9.87	8.53
8.71	9.79	9.51	7.53
8.70	7.41	7.13	8.97

ANALISE DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE

MEDIA.....	=	8.5576
MAIOR VALOR.....	=	9.7759
MENOR VALOR.....	=	7.1291
DESVIO PADRAO.....	=	0.8227
COEFICIENTE DE VARIACAO.....	=	0.1078
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN.....	=	0.9123
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE WILCOX.....	=	0.8956
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE HART.....	=	0.7140
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE BENAMI.....	=	0.7551
EFICIENCIA PADRAO DE CRIDDLE.....	=	0.8636

ANALISE DA EFICIENCIA DA IRRIGACAO

LAMINA REQUER. ADIM.	AREA SUB-IRRIGADA	AREA SUPER-IRRIGADA	VOL. DE DEFICIT	VOL. DE EXCESSO	EF. APLICACAO	EF. ARMAZENAMENTO
.4	0.00	1.00	0.00	.60	.40	1.00
.5	0.00	1.00	0.00	.50	.50	1.00
.6	0.00	1.00	0.00	.40	.60	1.00
.7	0.00	1.00	0.00	.30	.70	1.00
.8	0.00	1.00	0.00	.20	.80	1.00
.9	.25	.75	.01	.11	.89	.99
1.0	.50	.50	.04	.04	.96	.94
1.1	.75	.25	.11	.01	.99	.90
1.2	1.00	0.00	.20	0.00	1.00	.83
1.3	1.00	0.00	.30	0.00	1.00	.77
1.4	1.00	0.00	.40	0.00	1.00	.71
1.5	1.00	0.00	.50	0.00	1.00	.67
1.6	1.00	0.00	.60	0.00	1.00	.62

LAMINAS OBTIDAS APOS SOBREPOSICAO RETANGULAR (mm)

ESPACAMENTO 12 x 18 metros TEMPO DE OPERACAO - 1 hora

5.94	5.60	5.60	6.14
5.66	6.09	5.94	5.69
5.29	6.28	6.90	4.54
5.43	6.12	5.84	5.29
5.37	5.41	5.11	5.24
6.56	5.17	5.22	5.51

ANALISE DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE

MEDIA.....	=	5.7052
MAIOR VALOR.....	=	6.9979
MENOR VALOR.....	=	4.5378
DESVIO PADRAO.....	=	0.5462
COEFICIENTE DE VARIACAO.....	=	0.0957
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN.....	=	0.7232
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE WILCOX.....	=	0.9063
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE HART.....	=	0.7236
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE BENAMI.....	=	0.7839
EFICIENCIA PADRAO DE CRIDDLE.....	=	0.8931

ANALISE DA EFICIENCIA DA IRRIGACAO

LAMINA REQUER.ADIM.	AREA SUB-IRRIGADA	AREA SUPER-IRRIGADA	VOL. DE DEFICIT	VOL. DE EXCESSO	EF.APLICACAO	EF.ARMAZENAMENTO
.4	0.00	1.00	0.00	.60	.40	1.00
.5	0.00	1.00	0.00	.50	.50	1.00
.6	0.00	1.00	0.00	.40	.60	1.00
.7	0.00	1.00	0.00	.30	.70	1.00
.8	.04	.96	.00	.20	.80	1.00
.9	.08	.92	.00	.10	.90	.99
1.0	.58	.42	.04	.04	.96	.96
1.1	.83	.17	.11	.01	.99	.90
1.2	.96	.04	.20	.00	1.00	.83
1.3	1.00	0.00	.30	0.00	1.00	.77
1.4	1.00	0.00	.40	0.00	1.00	.71
1.5	1.00	0.00	.50	0.00	1.00	.67
1.6	1.00	0.00	.60	0.00	1.00	.62

LAMINAS OBTIDAS APOS SOBREPOSICAO RETANGULAR (mm)

ESPACAMENTO 18 x 18 metros TEMPO DE OPERACAO - 1 hora

3.67	3.77	4.62	4.32	3.24	3.65
3.65	3.56	4.29	4.18	3.65	4.04
4.50	3.53	3.16	3.39	4.53	3.89
4.26	3.56	2.99	3.28	4.01	4.56
3.41	3.33	3.86	4.01	3.21	3.31
4.20	3.47	4.45	4.08	3.13	4.14

ANALISE DOS COEFICIENTES DE UNIFORMIDADE

MEDIA.....	=	3.8034
MAIOR VALOR.....	=	4.6229
MENOR VALOR.....	=	2.9927
DESVIO PADRAO.....	=	0.8664
COEFICIENTE DE VARIACAO.....	=	0.1232
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE CHRISTIANSEN.....	=	0.5935
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE WILCOX.....	=	0.8726
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE HART.....	=	0.9017
COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE DE BENAMI.....	=	0.7307
EFICIENCIA PADRAO DE CRIDDLE.....	=	0.8487

ANALISE DA EFICIENCIA DA IRRIGACAO

LAMINA REQUER. ADIM.	AREA SUB-IRRIGADA	AREA SUPER-IRRIGADA	VOL. DE DEFICIT	VOL. DE EXCESSO	EF. APLICACAO	EF. ARMAZENAMENTO
.4	0.00	1.00	0.00	.60	.40	1.00
.5	0.00	1.00	0.00	.50	.50	1.00
.6	0.00	1.00	0.00	.40	.60	1.00
.7	0.00	1.00	0.00	.30	.70	1.00
.8	.03	.97	.00	.20	.80	1.00
.9	.28	.72	.01	.11	.89	.99
1.0	.53	.47	.05	.05	.95	.95
1.1	.72	.28	.12	.02	.98	.90
1.2	.97	.03	.20	.00	1.00	.53
1.3	1.00	0.00	.30	0.00	1.00	.77
1.4	1.00	0.00	.40	0.00	1.00	.71
1.5	1.00	0.00	.50	0.00	1.00	.57
1.6	1.00	0.00	.60	0.00	1.00	.53

## APÊNDICE E

COEFICIENTE DE UNIFORMIDADE EM FUNÇÃO DA PRESSÃO (Kpa),  
ALTURA DO ASPERSOR (M), ESPAÇAMENTO (MxM) E VELOCIDADE  
DO VENTO (M/S).

TABELA - 3 : Coeficiente de Uniformidade em função da pressão (Kpa) altura do aspersor (m), espaçamento (m X m) e velocidade do vento (m/s).

Pressão	Altura	Esp. Asp.	Esp. Lat.	Vento	CUC
200	1	12	12	2.44	83.73
200	1	12	12	3.10	79.50
200	1	12	12	3.47	79.83
200	1	12	18	2.44	69.38
200	1	12	18	3.10	63.23
200	1	12	18	3.47	61.44
200	1	18	18	2.44	61.36
200	1	18	18	3.10	48.31
200	1	18	18	3.47	44.20
200	1	12	12	3.00	83.98
200	1	12	12	3.40	80.09
200	1	12	12	4.18	75.79
200	1	12	18	3.00	59.60
200	1	12	18	3.40	54.70
200	1	12	18	4.18	54.58
200	1	18	18	3.00	49.22
200	1	18	18	3.40	42.86
200	1	18	18	4.18	32.82
200	1	12	12	1.98	84.91
200	1	12	12	2.67	84.33
200	1	12	12	2.99	80.55
200	1	12	18	1.98	71.26

## Continuações

Pressão	Altura	Esp. Asp.	Esp. Lat.	Vento	CUC
200	1	12	18	2.67	68.58
200	1	12	18	2.99	64.92
200	1	18	18	1.98	64.62
200	1	18	18	2.67	53.95
200	1	18	18	2.99	49.23
250	1	12	12	1.22	85.31
250	1	12	12	2.39	82.36
250	1	12	12	1.31	89.36
250	1	12	18	1.22	80.63
250	1	12	18	2.39	70.41
250	1	12	18	1.31	78.77
250	1	18	18	1.22	75.35
250	1	18	18	2.39	61.55
250	1	18	18	1.31	75.42
250	1	12	12	2.25	85.88
250	1	12	12	3.31	87.45
250	1	12	12	2.79	82.52
250	1	12	18	2.25	64.59
250	1	12	18	3.31	57.45
250	1	12	18	2.79	70.39
250	1	18	18	2.25	51.42
250	1	18	18	3.31	41.26
250	1	18	18	2.79	59.04
250	1	12	12	2.20	85.51
250	1	12	12	1.57	85.59



## Continuaçõs:

Pressão	Altura	Esp. Asp.	Esp. Lat.	Vento	CUC
250	1	12	12	2.25	87.91
250	1	12	18	2.20	78.23
250	1	12	18	1.57	78.84
250	1	12	18	2.25	77.27
250	1	18	18	2.20	69.45
250	1	18	18	1.57	72.09
250	1	18	18	2.25	68.02
300	1	12	12	1.47	84.31
300	1	12	12	1.90	83.46
300	1	12	12	1.94	83.69
300	1	12	18	1.47	77.99
300	1	12	18	1.90	74.55
300	1	12	18	1.94	76.97
300	1	18	18	1.47	72.83
300	1	18	18	1.90	69.82
300	1	18	18	1.94	69.88
300	1	12	12	2.87	87.01
300	1	12	12	2.26	86.67
300	1	12	12	2.48	82.96
300	1	12	18	2.87	66.77
300	1	12	18	2.26	74.56
300	1	12	18	2.48	73.68
300	1	18	18	2.87	59.06
300	1	18	18	2.26	68.93
300	1	18	18	2.48	59.14

Continuação

Pressão	Altura	Esp.Asp.	Esp.Lat.	Vento	CUC
300	1	12	12	2.00	83.93
300	1	12	12	1.99	85.98
300	1	12	12	1.20	87.74
300	1	12	18	2.00	71.95
300	1	12	18	1.99	77.02
300	1	12	18	1.20	81.05
300	1	18	18	2.00	66.49
300	1	18	18	1.99	71.85
300	1	18	18	1.20	76.10
350	1	12	12	2.45	80.83
350	1	12	12	3.10	80.93
350	1	12	12	3.20	79.75
350	1	12	18	2.45	65.29
350	1	12	18	3.10	64.46
350	1	12	18	3.20	64.44
350	1	18	18	2.45	62.56
350	1	18	18	3.10	58.02
350	1	18	18	3.20	48.14
350	1	12	12	2.00	85.19
350	1	12	12	2.40	84.34
350	1	12	12	2.35	83.72
350	1	12	18	2.00	78.78
350	1	12	18	2.40	71.48
350	1	12	18	2.35	70.74
350	1	18	18	2.00	71.39

## Continuações

Pressão	Altura	Esp. Asp.	Esp. Lat.	Vento	CUC
350	1	18	18	2.40	61.46
350	1	18	18	2.35	59.95
350	1	12	12	0.51	91.23
350	1	12	12	2.17	80.57
350	1	12	12	1.20	89.43
350	1	12	18	0.51	92.32
350	1	12	18	2.17	74.93
350	1	12	18	1.20	80.35
350	1	18	18	0.51	89.35
350	1	18	18	2.17	67.70
350	1	18	18	1.20	74.98
200	2	12	12	1.65	82.74
200	2	12	12	1.24	81.26
200	2	12	12	2.39	88.07
200	2	12	18	1.65	75.66
200	2	12	18	1.24	84.79
200	2	12	18	2.39	72.73
200	2	18	18	1.65	73.24
200	2	18	18	1.24	77.48
200	2	18	18	2.39	64.89
200	2	12	12	2.40	89.46
200	2	12	12	1.22	85.51
200	2	12	12	1.32	88.65
200	2	12	18	2.40	72.17
200	2	12	18	1.22	81.53

## Continuaco:

Pressão	Altura	Esp. Asp.	Esp. Lat.	Vento	CUC
200	2	12	18	1.32	81.37
200	2	18	18	2.40	64.52
200	2	18	18	1.22	79.01
200	2	18	18	1.32	75.60
200	2	12	12	1.70	80.67
200	2	12	12	1.17	86.69
200	2	12	12	1.20	84.98
200	2	12	18	1.70	78.86
200	2	12	18	1.17	87.45
200	2	12	18	1.20	82.84
200	2	18	18	1.70	70.42
200	2	18	18	1.17	77.44
200	2	18	18	1.20	78.51
250	2	12	12	1.65	83.00
250	2	12	12	2.60	82.22
250	2	12	12	1.65	88.18
250	2	12	18	1.65	80.73
250	2	12	18	2.60	73.58
250	2	12	18	1.65	81.41
250	2	18	18	1.65	71.09
250	2	18	18	2.60	67.27
250	2	18	18	1.65	70.81
250	2	12	12	1.65	86.08
250	2	12	12	1.54	85.47
250	2	12	12	1.55	83.50

## Continuação:

Pressão	Altura	Esp. Asp.	Esp. Lat.	Vento	CUC
250	2	12	18	1.65	80.90
250	2	12	18	1.54	77.01
250	2	12	18	1.55	81.10
250	2	18	18	1.65	72.62
250	2	18	18	1.54	73.85
250	2	18	18	1.55	74.00
250	2	12	12	1.55	88.01
250	2	12	12	1.11	81.26
250	2	12	12	1.20	82.20
250	2	12	18	1.55	78.30
250	2	12	18	1.11	76.80
250	2	12	18	1.20	83.41
250	2	18	18	1.55	75.12
250	2	18	18	1.11	85.04
250	2	18	18	1.20	79.93
300	2	12	12	1.64	81.83
300	2	12	12	2.77	82.33
300	2	12	12	2.59	82.34
300	2	12	18	1.64	80.52
300	2	12	18	2.77	70.30
300	2	12	18	2.59	71.90
300	2	18	18	1.64	72.08
300	2	18	18	2.77	69.16
300	2	18	18	2.59	67.38
300	2	12	12	1.31	82.47

## Continuaco:

Pressão	Altura	Esp.Asp.	Esp.Lat.	Vento	CUC
300	2	12	12	2.39	82.99
300	2	12	12	1.34	83.02
300	2	12	18	1.31	79.60
300	2	12	18	2.39	72.63
300	2	12	18	1.34	79.67
300	2	18	18	1.31	77.82
300	2	18	18	2.39	64.94
300	2	18	18	1.34	76.09
300	2	12	12	1.34	79.03
300	2	12	12	1.14	83.75
300	2	12	12	1.33	85.06
300	2	12	18	1.34	79.93
300	2	12	18	1.14	86.84
300	2	12	18	1.33	79.08
300	2	18	18	1.34	76.04
300	2	18	18	1.14	81.02
300	2	18	18	1.33	75.67
350	2	12	12	2.54	79.94
350	2	12	12	2.95	85.08
350	2	12	12	3.01	78.96
350	2	12	18	2.54	76.93
350	2	12	18	2.95	65.72
350	2	12	18	3.01	65.06
350	2	18	18	2.54	67.30
350	2	18	18	2.95	58.18

## Continuações:

Pressão	Altura	Esp. Asp.	Esp. Lat.	Vento	CUC
350	2	18	18	3.01	58.41
350	2	12	12	1.63	82.77
350	2	12	12	3.14	85.86
350	2	12	12	2.70	85.14
350	2	12	18	1.63	83.78
350	2	12	18	3.14	68.09
350	2	12	18	2.70	65.96
350	2	18	18	1.63	72.69
350	2	18	18	3.14	53.39
350	2	18	18	2.70	63.39
350	2	12	12	2.75	84.73
350	2	12	12	1.19	78.77
350	2	12	12	3.19	83.50
350	2	12	18	2.75	77.91
350	2	12	18	1.19	85.95
350	2	12	18	3.19	70.08
350	2	18	18	2.75	68.67
350	2	18	18	1.19	78.54
350	2	18	18	3.19	57.23