

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO EM UMA ÁREA
DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO EM UMA ÁREA
DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN

por

JOSÉ CIPRIANO DE MEDEIROS FILHO

CAMPINA GRANDE-PARAÍBA
MAIO/1983

JOSÉ CIPRIANO DE MEDEIROS FILHO

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO
POR ASPERSÃO EM UMA ÁREA DO MUNICÍPIO
DE MOSSORÓ-RN.

DISSERTAÇÃO APRESENTADA AO CURSO DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA, EM
CUMPRIMENTO ÀS EXIGÊNCIAS PARA OBTEN
ÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS
(M.Sc.)

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS (ENGENHARIA DE IRRIGA-
ÇÃO)

ORIENTADOR: HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA

CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
MAIO/1983



M488a Medeiros Filho, Jose Cipriano de
Avaliacao de um sistema de irrigacao por aspersao em uma
area do municipio de Mossoro-RN / Jose Cipriano de Medeiros
Filho. - Campina Grande, 1983.
77 f.

Dissertacao (Mestrado em Engenharia Civil) -
Universidade Federal da Paraiba, Centro de Ciencias e
Tecnologia.

1. Irrigacao por Aspersao 2. Sistema de Irrigacao por
Aspersao - 3. Dissertacao I. Guerra, Hugo Orlando Carvalho,
Dr. II. Universidade Federal da Paraiba - Campina Grande
(PB) III. Título

CDU 626.845(043)

"In Memoriam"

A meu pai José Cipriano

A minha mãe Cesária
A minha esposa Rosalva
A meus filhos Medeiros Neto e
Alessandra
A meus irmãos Manoel e Assis.

AGRADECIMENTOS

A minha esposa, Rosalva da Silva Medeiros, por sua compreensão e apoio durante todas as fases deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Hugo Orlando Carvalho Guerra, pela valiosa ajuda e orientação nas diferentes etapas de execução e elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Francisco das Chagas Nogueira, por seu empenho na planificação, execução e elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Hamilton Medeiros de Azevedo, pela cuidadosa revisão deste trabalho e pelas sugestões apresentadas.

Ao Prof. Joaquim Amaro Filho, pela ajuda prestada na fase de cálculos e na elaboração dos capítulos de revisão de literatura e materiais e métodos.

Ao Prof. Pedro Almeida Duarte, Diretor da ESAM, pelo incentivo e concessão de ajuda financeira, através do Convênio FGD/ESAM/ASPERSÃO.

Ao Prof. Jerônimo Vingt-Un Rosado Maia, Presidente da Fundação Guimarães Duque, pelo apoio para a impressão deste trabalho.

Ao Prof. Francisco Praxedes de Aquino, por ter assumido as minhas funções didáticas na ESAM durante a fase experimental, e pelos ensinamentos sobre regressão múltipla.

Ao Prof. Francisco das Chagas da Silva Espínola, por ter assumido as minhas funções administrativas no Departamento de Engenharia Agrícola da ESAM durante as fases experimental e de redação deste trabalho.

Ao Prof. José Espínola Sobrinho, pelas sugestões sobre as medições dos fatores climáticos.

Ao Prof. Gilvan Rodrigues de Oliveira, pelo apoio durante a fase de redação deste trabalho.

Aos Profs. Francisco Bezerra Neto e José Helvecio Martins, pelas sugestões sobre as análises estatísticas e pelo empréstimo de material bibliográfico.

Aos Profs. Francisco de Souza, Gilberto Chohaku Sediya-ma, Maria das Graças Bezerra Sathler, Nilson de Sousa Sathler, ao Dr. Ricardo Augusto Lopes Brito e às Bibliotecárias Maria Inês Aragão Freire e Virgínia Bentes Pinto, pela atenção dispensada aos meus pedidos de material bibliográfico.

Aos Engenheiros Agrônomos Antonio Carlos Rodrigues, Antonio Fernandes Maia, Arlindo Bezerra da Silva, Carlos Alberto de Oliveira, Cosme Nogueira da Silva e Francisco das Chagas, pela ajuda prestada na fase experimental deste trabalho.

Ao Engenheiro Agrônomo Francisco Fernandes da Costa, pelo incentivo e pela ajuda prestada durante a defesa deste trabalho.

Aos Professores e colegas do Curso de Pós-Graduação, pelos conhecimentos adquiridos e pelo convívio sadio.

Aos funcionários da Fazenda Experimental "Rafael Fernandes", Antonio, Domingos e Francisco ("In Memoriam"), pelo auxílio prestado nos trabalhos de campo.

Ao Sr. José Herisberto de Medeiros Miranda e à Sra. Perpétua Socorro Pereira Carvalho, pelos trabalhos datilográficos.

Ao Sr. Paulo César de Oliveira, pelo desenho do abrigo meteorológico e das figuras deste trabalho.

Ao estudante Marcílio Rodrigues de Oliveira, pela valiosa ajuda durante a fase de redação deste trabalho.

Ao Prof. Boanerges Freire de Aquino, pela ajuda presta-

da na elaboração do "Abstract".

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e à Escola Superior de Agricultura de Mossorô (ESAM), pela oportunidade concedida.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola e à Coordenadoria de Produção da ESAM, pelo apoio básico oferecido.

À Fundação Guimarães Duque, pela administração do Convênio FGD/ESAM/ASPERSÃO.

À Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, área de concentração Recursos Hídricos (Engenharia de Irrigação), pelo incentivo e concessão de tempo adicional à conclusão deste trabalho.

Ao Centro de Ciências e Tecnologia da UFPb, pela minha formação profissional e científica.

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

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO
EM UMA ÁREA DO MUNICÍPIO DE MOSSORÓ-RN

por

JOSÉ CIPRIANO DE MEDEIROS FILHO

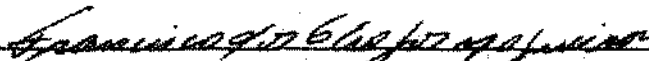
DISSERTAÇÃO APROVADA EM 27 / 05 / 1983



PROF. HUGO ORLANDO CARVALLO GUERRA
ORIENTADOR



PROF. HAMILTON MEDEIROS DE AZEVEDO



PROF. FRANCISCO DAS CHAGAS NOGUEIRA

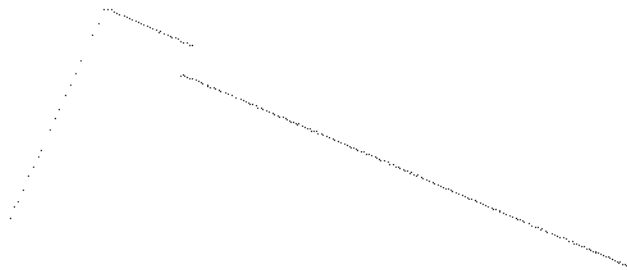
CAMPINA GRANDE - PARAÍBA
MAIO/1983

RESUMO

Um estudo foi conduzido na Fazenda Experimental "Rafael Fernandes" da Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), Mossoró-RN, no período de outubro de 1981 a fevereiro de 1982, com o objetivo de avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por aspersão. Para isso, foi utilizada a metodologia proposta por MERRIAM & KELLER (1978). Os testes foram realizados, sob diferentes condições climáticas, para os espaçamentos entre aspersores ao longo da lateral de 12 e 18m e as alturas do tubo de elevação de 0,5; 1,0 e 2,0m. Os parâmetros estudados foram a precipitação média, a uniformidade de distribuição de água e as perdas de água por evaporação.

Os resultados mostraram que a precipitação média não foi influenciada pela altura do tubo de elevação. As melhores uniformidades de distribuição de água foram obtidas com o tubo de elevação a 2m de altura e com os menores espaçamentos (12 x 12 e 12 x 18m). O espaçamento de 18 x 18m apresentou uniformidades satisfatórias. Em geral, a uniformidade de distribuição de água diminuiu com o aumento da velocidade do vento, e o efeito desse fator climático foi mais significativo com o tubo de elevação a 2m de altura. Os fatores climáticos (velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar) tiveram maior influência nas perdas de água por evaporação do que a altura do tubo de elevação ou o espaçamento entre aspersores. As perdas aumentaram significativamente com a velocidade do vento. Para as velocidades do vento testadas (2,34 a 6,28 m/s), as perdas de água por evaporação variaram de 6,30 a 19,75%.

Para as condições de clima de Mossorô e para as especificações do sistema de aspersão testado, aconselha-se o uso do espaçamento dos aspersores de 18 x 18m e o tubo de elevação a uma altura de 2m, com as irrigações sendo preferencialmente conduzidas no período da manhã.



ABSTRACT

A study was conducted at the "Rafael Fernandes" Experimental Farm of the "Escola Superior de Agricultura de Mossoró", at Mossoró, RN, Brazil, with the objective to evaluate the performance of a sprinkler irrigation system. The methodology used was that proposed by Merriam and Keller (1978). The tests were carried out under different climatic conditions using 12 and 18m spacing between sprinklers along the lateral and risers heights of 0.5; 1.0 and 2.0m. The parameters studied were the average precipitation, water distribution uniformity, and water losses by evaporation.

The results showed that the average precipitation was not affected by the riser height. The best water uniformity distribution were obtained with the riser at 2m high and with the smallest spacings (12 x 12 and 12 x 18m). The 18 x 18m spacing presented satisfactory water distribution uniformity. In general, the water distribution uniformity decreased with increasing windspeed and the effect of this climatic factor was more pronounced with the riser at 2m high. The climatic factors (windspeed, temperature and air relative humidity) had greater effect on the water losses by evaporation than the riser height or spacing between sprinklers. The losses increased significantly with increasing windspeed. The tested windspeeds (2.34 to 6.28 m/s) caused water losses by evaporation that ranged from 6.30 to 19.75%.

Under the climatic conditions of Mossoró city and considering the specifications of the tested sprinkler irrigation

system, it is advised the use of the sprinkler spacing of 18 x 18m and the riser height of 2m, with the irrigations being conducted preferably at morning.

Í N D I C E

	Página
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO II - REVISÃO DE LITERATURA	3
1. Taxa de aplicação de água na irrigação por aspersão	3
2. Uniformidade de distribuição de água	6
2.1. Velocidade e direção do vento	6
2.2. Espaçamento entre aspersores e entre linhas laterais	9
2.3. Altura do tubo de elevação	11
3. Perdas de água por evaporação	12
CAPÍTULO III - MATERIAIS E MÉTODOS	18
1. Localização dos ensaios	18
2. Descrição do sistema de aspersão usado nos testes	19
3. Tratamentos	19
4. Procedimento experimental	20
4.1. Procedimento de campo	20
4.2. Avaliação dos parâmetros estudados	24
5. Análise dos resultados	25
CAPÍTULO IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
1. Taxa de aplicação de água	27
1.1. Influência da altura do tubo de elevação	27
1.2. Influência do espaçamento dos aspersores	27
1.3. Influência da velocidade do vento	34
2. Uniformidade de distribuição de água	36
2.1. Influência da altura do tubo de elevação	36

2.2. Influência do espaçamento dos aspersores	37
2.3. Influência da velocidade do vento	39
3. Perdas de água por evaporação	41
3.1. Influência da altura do tubo de elevação	48
3.2. Influência do espaçamento entre aspersores ao longo da lateral	48
3.3. Influência dos fatores climáticos	49
4. Considerações gerais sobre o uso do sistema de aspersão avaliado	53
CAPÍTULO V - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	54
LITERATURA CITADA	56
APÊNDICE	61

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, tem-se observado no Nordeste Semi-Árido do Brasil um incremento significativo no uso da irrigação, o que tem ocasionado a adoção mais intensiva de sistemas tradicionais como a aspersão. Quando se irriga, a uniformidade de distribuição e a eficiência de aplicação de água são fatores imprescindíveis na conservação do solo e água e sua otimização pode aumentar a produtividade agrícola.

O sistema de irrigação por aspersão é capaz de distribuir água em amplas áreas com relativa uniformidade. No entanto, sabe-se que diversos fatores contribuem para a desuniformidade de aplicação de água por parte desse sistema, destacando-se, dentre outros, a velocidade do vento, a altura do tubo de elevação do aspersor, o espaçamento dos aspersores ao longo da linha lateral e o espaçamento entre linhas laterais.

Pouco se sabe sobre a uniformidade de distribuição e as perdas por evaporação da água aplicada pelos sistemas de aspersão em uso no Semi-Árido do Nordeste brasileiro, sendo comum adotar-se, nos cálculos de projetos, valores registrados em outros locais. Sendo essa região caracterizada por temperaturas predominantemente elevadas e ventos fortes, que proporcionam condições climáticas adversas à alta eficiência de aplicação e uniformidade de distribuição de água, geralmente obtidas com a irrigação por aspersão, faz-se necessário que esses parâmetros sejam avaliados nas condições locais, de modo a favorecer os

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
Faculdade de Engenharia Civil
Departamento de Engenharia de Estruturas
Rua João Pessoa 515 - 515
Campus - Paraíba

técnicos e usuários da irrigação na elaboração de projetos e manejo do sistema.

O presente trabalho se propõe a avaliar a taxa de aplicação, a uniformidade de distribuição de água e as perdas por evaporação do jato d'água de um sistema de aspersão localizado em uma área do município de Mossoró-RN, determinando a influência da altura do tubo de elevação, do espaçamento dos aspersores ao longo da linha lateral, do espaçamento entre linhas laterais e de fatores climáticos, tais como velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar, sobre os referidos parâmetros.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
Instituto de Física e Matemática
Coordenação Geral de Pós-Graduação
Rua Aprígio Veloso, 852 - Tel. (83) 321 7222-R 355
55.100 - Campina Grande - Paraíba

CAPÍTULO II

REVISAO DE LITERATURA

1. Taxa de aplicação de água na irrigação por aspersão

A taxa de aplicação de água de um sistema de irrigação por aspersão é função da vazão e do espaçamento dos aspersores, sendo determinada pela seguinte expressão (PILLSBURY, 1968; OLITTA, 1977; BERNARDO, 1982):

$$I = \frac{Q \times 3600}{Ea \times E1} \quad (1)$$

onde:

- I = taxa de aplicação de água (mm/h);
- Q = vazão do aspersor (l/s);
- Ea = espaçamento entre aspersores ao longo da linha lateral (m);
- E1 = espaçamento entre linhas laterais (m).

No entanto, essa seria a aplicação teórica, já que nem toda a água aplicada pelos aspersores atinge a superfície do solo, em virtude das perdas por evaporação (OLITTA, 1977). Na prática, a taxa de aplicação de água corresponde à precipitação média obtida nos testes de avaliação da distribuição de água por um sistema de aspersão (PAIR, 1968).

De acordo com LÓPEZ (1972), a taxa de aplicação de água deve ser menor ou igual à capacidade de infiltração do solo, para que não ocorram problemas de empoçamento, escoamento superficial e/ou erosão do solo. Nessa linha, PILLSBURY (1968), PAIR et alii (1969) e BERNARDO (1982) afirmam que a taxa de aplica-

ção média deve ser menor ou igual à velocidade de infiltração básica do solo.

A capacidade de infiltração dos solos depende basicamente de sua textura e estrutura (BERNARDO, 1982). Nesse sentido, PILLSBURY (1968) sugere, para solos de diferentes classes texturais, as taxas de infiltração apresentadas no Quadro 1. Afirma que, nos locais onde faltam informações provenientes de ensaios, essas taxas geralmente têm sido utilizadas. Valores semelhantes aos apresentados no Quadro 1 são adotados por PAIR *et alii* (1969) como estimativa das velocidades de infiltração básica dos solos.

QUADRO 1 - Taxas de infiltração comuns para solos de diferentes classes texturais¹

Classe textural do solo	Taxas de infiltração máximas usuais	
	Solo com boa estrutura superficial ²	Solo com pobre estrutura superficial ³
	mm/h	mm/h
Areia grossa	20 - 25	12
Areia fina	12 - 20	10
Franco-arenoso fino	12	8
Franco-siltoso	10	7
Franco-argiloso	8	6
Argila	5	2
Argila rachando-se ⁴	25+	25+

1/ Alguns solos podem diferir significativamente, tendo valores maiores ou menores do que os aqui especificados.

2/ Geralmente solos protegidos do impacto das gotas de água através de uma cultura ou de um resíduo orgânico.

3/ Onde solos desnudos formam uma crosta superficial.

4/ Taxa inicial com rápido encharcamento; a irrigação por aspersão geralmente não é recomendada.

No Quadro 2 são mostradas as máximas taxas de precipitação permitidas sobre diferentes superfícies de solos (FRY & GRAY, 1969).

QUADRO 2 - Máximas taxas de precipitação sobre a superfície do solo

Solos	Máximas taxas de precipitação
	mm/h
Arenosos leves	12,7 - 19,0
Médios	6,3 - 12,7
Pesados	2,5 - 6,3

Segundo WILLARDSON et alii (1974), a irrigação por aspersão, mesmo com altas taxas de aplicação de água, pode ser usada em solos com baixas capacidades de infiltração, e assim, rápidas e frequentes irrigações poderiam ser conduzidas a taxas maiores do que aquelas indicadas por PILLSBURY (1968) e apresentadas no Quadro 1. Eles indicam que, para isso, a água tem de ser aplicada intermitentemente, e a taxa de aplicação média não deve exceder a velocidade de infiltração instantânea do solo, durante o período de aplicação de água.

De acordo com BERNARDO (1982), a irrigação por aspersão adapta-se melhor em solos com textura média e grossa, já que nesses solos a irrigação pode ser feita com uma maior taxa de aplicação. Em solos com textura fina, em virtude de sua baixa capacidade de infiltração, a taxa de aplicação teria que ser muito pequena, o que nem sempre é possível. Afirma também que a taxa de aplicação ideal na irrigação por aspersão é em torno de 10 mm/h.

2. Uniformidade de distribuição de água

Um dos objetivos da irrigação é distribuir a água uniformemente sobre o solo de tal maneira que esta possa se infiltrar sem que ocorram perdas por escoamento superficial. O sistema de irrigação por aspersão é capaz de distribuir água em amplas áreas com relativa uniformidade, no entanto, sabe-se que diversos fatores contribuem para a desuniformidade de aplicação de água por parte desse sistema, tais como espaçamento entre aspersores e entre linhas laterais, altura do tubo de elevação, velocidade de rotação dos aspersores, tipo e tamanho do bocal, pressão de serviço, velocidade e direção do vento (CHRISTIANSEN, 1942; BRANSCHIED & HART, 1968; FRY & GRAY, 1969). A ação destes fatores comumente é avaliada em termos de um coeficiente de uniformidade, através do qual pode ser analisada a performance do sistema.

Na presente revisão são abordados os efeitos da velocidade e direção do vento, do espaçamento entre aspersores e entre linhas laterais e da altura do tubo de elevação dos aspersores.

2.1. Velocidade e direção do vento

Dentre os fatores climáticos importantes na irrigação por aspersão, de acordo com LÓPEZ (1972), o vento é o que produz maiores variações na uniformidade de aplicação de água. A sua velocidade tem um papel importante na eficiência do sistema, enquanto que a direção deve ser levada em consideração para o posicionamento das linhas laterais. Fatores como pressão de serviço do aspersor, espaçamento entre aspersores, altura do tubo de elevação e diâmetro dos bocais do aspersor podem ser controlados, no entanto a velocidade do vento independe de

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 Pró-Reitoria de Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Acácio Veloso, 311 - 51201-970 - João Pessoa - Paraíba
 55.1100 - Telefone: 3333-3333 - 3333-3333

controle (MOLENAAR et alii, 1954; FRY & GRAY, 1969). Conforme analisa FRY & GRAY (1969), o vento é um fator que não pode ser controlado, embora que a escolha do espaçamento adequado e outros parâmetros de projeto possa minimizar os seus efeitos na uniformidade de distribuição de água. A esse respeito, outros autores (CHRISTIANSEN, 1942; MOLENAAR et alii, 1954; SCOTT & CORREY, 1957; PILLSBURY, 1968; BERNARDO, 1982) chegaram à mesma conclusão. Devido a importância que a velocidade e direção do vento exercem sobre a uniformidade de distribuição de água, a ASAE (1973) recomenda que esses parâmetros devem ser obrigatoriamente mensurados durante a realização de testes para avaliar o desempenho do sistema de irrigação por aspersão.

Analisando o efeito do vento sobre os modelos de distribuição de água pelos aspersores, CHRISTIANSEN (1942) chegou à conclusão de que a influência desse elemento climático é transportar a água a uma distância maior na sua direção, ocasionando uma elevada concentração de água perto do aspersor, especialmente na direção normal à direção do vento, e uma deficiência no local oposto ao sentido do vento. Semelhantes resultados foram encontrados por ELJANANI (1963), complementando ainda que excesso de vento provoca escoamento superficial na região próxima ao aspersor na direção do vento, além de aplicar água fora da área que está sendo irrigada.

SEGINER (1969) afirma que as mudanças na velocidade e direção do vento têm um efeito importante na distribuição de água por aspersores, especialmente quando as laterais são móveis através do campo, em relação ao tempo. Ainda indica que quando se assume um sistema fixo durante os testes de aspersores podem aparecer valores de uniformidade inteiramente diferentes daqueles que são encontrados em regime de campo. O desvio entre os resultados do teste standard e os obtidos na prá-

tica dependem do regime de vento do local e período do ano, assim como do espaçamento e direção de movimento das laterais. Cita ainda o autor, através de dados obtidos, que a prática comum de localizar as laterais perpendiculares à direção do vento dominante é justificada, embora que para certas localidades e épocas do ano a orientação escolhida possa ser diferente.

GOMIDE (1978) estudou o efeito de diferentes fatores, dentre eles o vento, sobre a uniformidade de distribuição, concluindo o seguinte: à medida que aumenta a velocidade do vento deve haver uma redução no espaçamento dos aspersores; quanto maior a altura do tubo de elevação, maior o efeito do vento; e o coeficiente de uniformidade de Christiansen é mais influenciado pelo vento do que pela altura do tubo de elevação.

Trabalhos de campo conduzidos por ARRUDA (1981), para determinar 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 do sistema de irrigação por aspersão em linha quando a velocidade média do vento é superior a 1,5 m/s. Por sua vez, ELJANANI (1963) indica que os efeitos da velocidade do vento podem ser atenuados, desde que as irrigações sejam procedidas em períodos do dia em que a velocidade do vento não ultrapassa a 2,5 m/s. Por outro lado, PAIR et alii (1969) mostram que uma maior ou menor alteração da distribuição de água pelos aspersores depende da velocidade do vento e do tamanho das gotas. À medida que aumenta a velocidade do vento e diminui o tamanho das gotas verificam-se alterações mais substanciais no modelo de distribuição em aqueles obtidos na ausência do vento.

WIERSMA (1955) afirma que o ângulo formado entre a direção do vento e a lateral apresenta um baixo ou nenhum efeito no modelo de distribuição de água pelos aspersores. No entanto, LÓPEZ (1972) e BERNARDO (1982) afirmam que, para minimizar o efeito do vento, deve-se colocar as linhas laterais perpendiculares à direção predominante dos ventos. Por sua vez, SAINT - FOULC (1968) e RIBEIRO (1982) recomendam que, para uma melhor uniformidade de distribuição nos espaçamentos retangulares, o lado maior (que geralmente indica o espaçamento entre laterais) deve ficar situado paralelamente à direção dos ventos dominantes.

2.2. Espaçamento entre aspersores e entre linhas laterais

Como indicado anteriormente, o vento tem mostrado efeitos substancialmente negativos sobre a uniformidade de distribuição de água por sistemas de aspersão, no entanto tem-se comprovado que esses efeitos podem ser parcial ou totalmente eliminados, desde que a irrigação seja procedida com baixas velocidades do vento (ELJANANI, 1963), ou seja adequadamente dimensionado o arranjo e o espaçamento dos aspersores (CHRISTIANSEN, 1942; MOLENAAR *et alii*, 1954; SCOTT & CORREY, 1957; PILLSBURY, 1968; GOMIDE, 1978; BERNARDO, 1982).

Os aspersores, podem receber disposições geométricas como quadrados, retângulos e triângulos, espaçados dentro de certas distâncias, de maneira a permitir uma perfeita distribuição de água sobre o terreno (PILLSBURY, 1968). Para essas disposições geométricas, SAINT - FOULC (1968) recomenda as distâncias $R\sqrt{2}$ para as disposições quadradas, $R\sqrt{3}$ para as triangulares e $R/2$ e $2R/3$ para as retangulares, sendo R o raio de alcance do aspersor.

WILCOX & McDOUGALD (1955), estudando os fatores que afetam a distribuição de água em sistemas de aspersão, concluíram que, na ausência do vento ou sob velocidades baixas, deve-se preferir um arranjo quadrangular dos aspersores e, sob condições de velocidades altas do vento, melhores distribuições são obtidas em arranjos retangulares com espaçamentos estreitos entre os aspersores. Por outro lado, PILLSBURY (1968) indica que, quando não existem problemas de vento, boas uniformidade podem ser obtidas por uma disposição dos aspersores na forma quadrada ou triangular equilátera.

A disposição retangular dos aspersores, com o lado maior colocado na direção do vento, é de acordo com PERA (1971), uma maneira eficiente de reduzir as distorções na aplicação de água por aspersores. Ainda a esse respeito, Schwab et alii (1966), citados por FERREIRA (1976), com o propósito de atenuar os efeitos que o vento exerce sobre a distribuição de água, apresentam uma série de espaçamentos entre aspersores e entre laterais, em função da velocidade do vento.

De acordo com CHRISTIANSEN (1942) e MOLENAAR et alii (1954), o espaçamento entre aspersores ao longo da lateral e entre laterais deve ser reduzido para velocidades do vento mais elevadas, permitindo que haja uma melhor uniformidade de distribuição de água, já que o efeito do vento é menos acentuado para espaçamentos estreitos.

Estudando a uniformidade de aplicação de água na irrigação por aspersão, GOMIDE (1978) encontrou que os espaçamentos de 18 x 18, 12 x 24 e 18 x 24m fornecem coeficientes de uniformidade de Christiansen superiores a 80%, para velocidades do vento inferiores a 4,0; 1,5 e 1,3 m/s, respectivamente. Por sua vez, ARRUDA (1981), trabalhando na análise de distribuição de água no sistema de irrigação por aspersão em linha, concluiu

que o coeficiente de uniformidade e a largura da área irrigada, confiável para se obter valores aceitáveis de uniformidade, diminuem consideravelmente, à medida que aumenta o espaçamento entre os aspersores ao longo da linha. Nesse sentido, RIBEIRO (1982), trabalhando com quatro marcas de aspersores, encontrou que o coeficiente de uniformidade diminui, quando aumenta o espaçamento e/ou a velocidade do vento, sendo que as uniformidades mais elevadas são apresentadas pelo espaçamento de 12 x 12m. Por outro lado, Linares (1969), citado por GÓMEZ (1976), reporta que o coeficiente de uniformidade cresce à medida que a velocidade média do vento diminui, para o espaçamento de 8 x 8m, ao passo que o contrário ocorre para o espaçamento de 10 x 10m.

O espaçamento dos aspersores ao longo da linha lateral deve, de acordo com HENDERSON (1965), estar compreendido entre 1/4 e 1/2 do diâmetro de cobertura dos aspersores, sendo que a distância entre as linhas laterais não deve ser superior a 2/3 do diâmetro de cobertura.

2.3. Altura do tubo de elevação

Dentre as condições que afetam a distribuição de água existem aquelas que são pertinentes ao equipamento. BRANSCHIED & HART (1968) incluem como uma das mais importantes a altura do tubo de elevação. ELJANANI (1963) concorda com o anterior, e mostra que a altura do tubo de elevação exerce considerável influência na uniformidade de aplicação de água.

Trabalhando com aspersores PERROT ZED - 30, instalados nas alturas de 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0m, GOMIDE (1978) encontrou, para as condições onde foram realizados os testes, que os maiores coeficientes de uniformidade foram obtidos com as maiores alturas do tubo de elevação. Estudando os fatores que afetam a

uniformidade de distribuição de água por aspersores, PAIR et alii (1969) concluíram que as maiores alturas do tubo de elevação foram as que proporcionaram os melhores resultados. No entanto, enfatiza que, na presença de ventos, apresentaram maior distorção no modelo de distribuição.

Utilizando aspersores PERROT ZED - 30, instalados nas alturas de 1,5 e 2,0m, ARRUDA (1981) também encontrou que, para as velocidades de vento estudadas (0 a 3 m/s), os maiores coeficientes foram obtidos quando a altura do tubo de elevação foi de 2 m.

WIERSMA (1955) comparou a uniformidade de distribuição de água por aspersores com diferentes alturas do tubo de elevação e concluiu que os tubos de elevação mais altos apresentaram uma uniformidade de distribuição superior em relação aos menores. No entanto, MOLENAAR et alii (1954), mostra, através de resultados experimentais, que a uniformidade de aplicação diminui quando a altura do tubo de elevação ultrapassa 35,6 cm.

Por outro lado, GOMIDE (1978) mostra que a altura mais adequada do tubo de elevação depende da cultura a ser irrigada. Salaria ainda que o tubo deve ser instalado perpendicular à superfície do solo e bem acoplado à linha lateral para evitar vibrações.

3. Perdas de água por evaporação

A irrigação por aspersão é afetada pelas perdas de água por evaporação. Essas perdas podem ser consideradas apreciáveis quando a irrigação por aspersão é conduzida em regiões muito quentes e secas, com elevadas velocidades do vento (CHRIS

TIANSEN, 1942; FROST & SCHWALEN, 1955; PAIR et alii, 1969 ; CLARK & FINLEY, 1975; DYLLA & SHULL, 1975). Para as condições climáticas do Nordeste brasileiro, essas perdas são de capital importância (BERNARDO, 1978).

De acordo com vários autores (FROST & SCHWALEN, 1955 ; STERNBERG, 1967; FRY & GRAY, 1969; PAIR et alii, 1969); as perdas de água por evaporação na irrigação por aspersão dependem de fatores operacionais do sistema de irrigação (pressão de serviço, diâmetro dos bocais, pulverização do jato de água, etc.) e climáticos (velocidade do vento, deficit de pressão de vapor, temperatura, umidade relativa do ar, etc.).

Um dos primeiros estudos para se estimar as perdas de água por evaporação na aspersão, a partir da operação de um só aspersor, foi conduzido na Califórnia por CHRISTIANSEN (1942). Os resultados desse estudo mostraram que as perdas de água eram de aproximadamente 4% para os testes realizados cedo da manhã, quando a umidade relativa do ar era superior a 75%, enquanto que para os testes realizados na tarde com temperaturas de até 41°C e umidades de até 15%, as perdas variaram de 10 a 42%. Essas perdas não mostraram uma alta correlação com a umidade relativa, nem com o deficit de pressão de vapor, no entanto encontrou-se uma alta correlação com a radiação solar. FROST & SCHWALEN (1955) no Arizona avaliaram as perdas de água por evaporação na aspersão, através da condução de testes com um só aspersor, encontrando, sob condições extremas de alta temperatura e baixa umidade relativa do ar, perdas na faixa de 35 a 45%. Nas mesmas condições climáticas, com a operação de dois aspersores, as perdas situaram-se na faixa de 12 a 15%. A maioria dos testes foram realizados com velocidades do vento inferiores a 2,2 m/s, e somente em poucos testes a velocidade do vento variou de 3,6 a 4,5 m/s. Baseado nos resultados de 700

testes, os autores concluíram que as perdas aumentaram com a temperatura do ar, velocidade do vento, pressão de serviço e grau de pulverização do jato de água, e diminuíram com o aumento na umidade relativa e diâmetro do bocal. Encontraram também uma boa correlação entre as perdas de água e o deficit de pressão de vapor. Ainda concluíram que dobrando a velocidade do vento, as perdas aproximadamente duplicavam-se. Os resultados obtidos nos testes experimentais permitiram também a elaboração de um nomograma (Fig. 1), que fornece uma estimativa das perdas por evaporação do jato de água, a partir das condições climáticas e de operação do sistema de irrigação por aspersão.

Nessa mesma linha de pesquisa, KRAUS (1966), trabalhando na Califórnia com uma linha lateral com seis aspersores, observou a existência de uma relação linear aproximadamente constante entre as perdas de água obtidas experimentalmente e aquelas calculadas através do nomograma de FROST & SCHWALEN (1955), indicando que as perdas variaram principalmente com os fatores apontados pelos citados autores (deficit de pressão de vapor, diâmetro do bocal, pressão de serviço e velocidade do vento). As perdas obtidas variaram de 3,4 a 17%, para deficits de pressão de vapor de 3,12 a 17,09 mm Hg, umidades relativas de 37 a 78,4% e velocidades do vento de 1,0 a 4,5 m/s. A análise dos resultados indicou que as perdas foram aproximadamente proporcionais ao deficit de pressão de vapor e à umidade relativa, no entanto não foi observada uma relação clara entre as perdas e a velocidade do vento. Por outro lado, George (1957), citado por KRAUS (1966), não observou correlação entre as perdas e o deficit de pressão de vapor, mas encontrou uma correlação entre as perdas e a umidade relativa.

Trabalhando também na Califórnia, STERNBERG (1967) estudou as perdas de água por evaporação de um sistema de irriga-

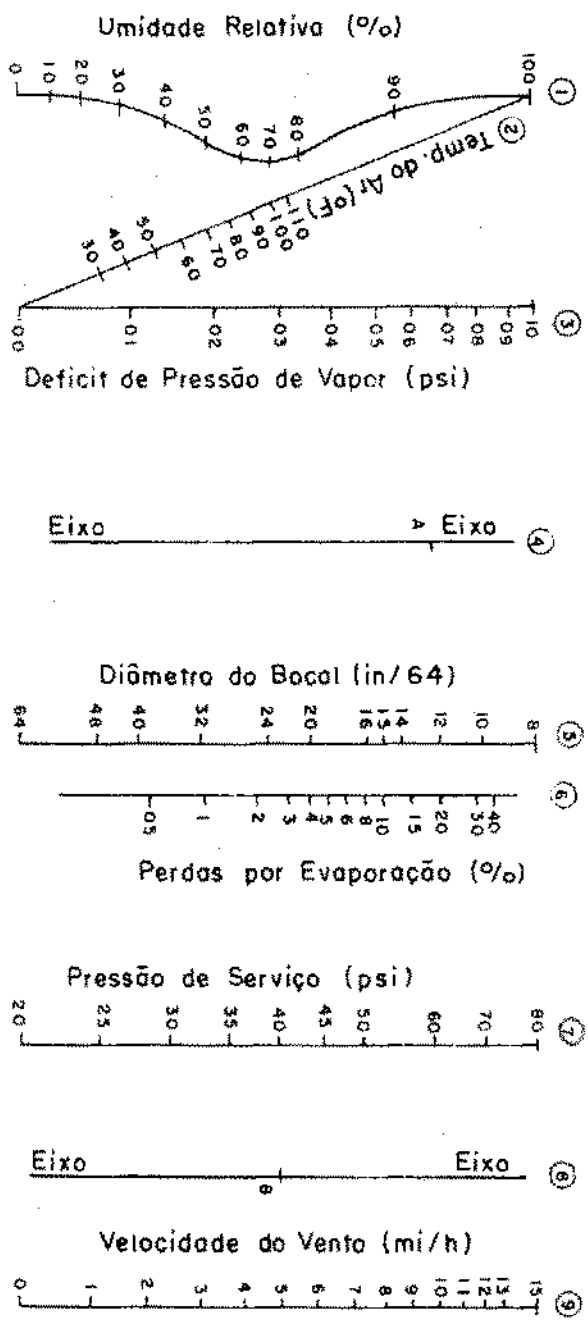


Figura 1 - Nomograma para o cálculo das perdas por evaporação do joão d'água para condições específicas de clima, tamanho do bocal e pressão de serviço (FROST & SCHWALEN, 1955)

ção por aspersão. Para esse estudo, o autor utilizou duas linhas laterais, com a área de medição situada entre quatro aspersores. Os resultados obtidos demonstraram que para os testes realizados durante o dia, com velocidades do vento entre 0,9 e 1,8 m/s, temperaturas do ar entre 27,7 e 33,3^o C e umidades relativas entre 24 e 46%, as perdas variaram de 17 a 25% da vazão dos aspersores. Essas perdas caíram para uma faixa de 11 a 16% para os testes realizados à noite nas mesmas condições de velocidade do vento, mas com temperaturas do ar abaixo de 21^o C e umidades relativas acima de 61%.

Estudando as perdas de água por evaporação em sistemas de irrigação por aspersão no Imperial Valley da Califórnia, HERMSMEIER (1973) concluiu que a temperatura do ar e a taxa de aplicação de água eram melhores fatores para estimar as perdas do que a velocidade do vento ou a umidade relativa. Por outro lado, CLARK & FINLEY (1975) estudaram as perdas de água por evaporação na irrigação por aspersão, a partir de testes realizados em Bushland, Texas, com um sistema constituído de três linhas laterais espaçadas de 12m e cinco aspersores em cada lateral, espaçados de 9m. A área de medição foi localizada em redor do aspersor central. Foram testados dois tamanhos de bocal (3,97 e 4,36 mm) e três pressões de serviço (2,1; 2,8 e 3,5 kgf/cm²). Nesses testes, a temperatura do ar variou de 15 a 38^o C, o deficit de pressão de vapor de 7 a 43 mm Hg, e a velocidade do vento de 1,3 a 8,1 m/s. Os resultados obtidos permitiram chegar às seguintes conclusões: pequenas diferenças nas perdas ocorreram quando se compararam os dois bocais; as perdas foram pouco influenciadas pela temperatura do ar e pressão de serviço; quando a velocidade média do vento foi menor que 4,5 m/s, as perdas foram geralmente menores que 10% e o deficit de pressão de vapor teve a maior influência na quantidade

de água evaporada; quando a velocidade média do vento variou entre 4,5 e 8,5 m/s, as perdas variaram de 10 a 30% e aumentaram exponencialmente com a velocidade do vento, que foi neste caso o fator predominante.

WISER et alii (1961) sugeriram a hipótese de que as perdas de água por evaporação na irrigação por aspersão podiam ser estimadas através das equações usadas para a determinação da quantidade de água evaporada de uma superfície livre, sob condições meteorológicas similares. Com relação a essa estimativa, GÓMEZ (1976) sugeriu a dedução de fórmulas ou a modificação das conhecidas, para que sejam de aplicação prática direta no local onde está sendo feita a irrigação. Em trabalho conduzido no município de Pentecoste-CE, RIBEIRO (1982) estimou as perdas de água por evaporação como sendo iguais à quantidade de água evaporada, durante o período de realização de um teste de avaliação do sistema de aspersão, por um recipiente localizado fora da área de coleta da precipitação. Para velocidades do vento na faixa de 0,4 a 5,0 m/s, foram registradas perdas de 2,6 a 14,0%.

De acordo com DAKER (1970), as perdas de água por evaporação em sistemas de aspersão oscilam entre 2 e 8% da vazão dos aspersores. Segundo BERNARDO (1978), as perdas são inversamente proporcionais à duração da irrigação e, em geral, 3 a 4 vezes maiores durante o dia do que durante a noite.

CAPÍTULO III

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Localização dos ensaios

O trabalho foi conduzido, no período de outubro de 1981 a fevereiro de 1982, em uma área da Fazenda Experimental "Rafael Fernandes" da Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), situada a 18 km da cidade de Mossoró-RN, a $5^{\circ}04'00''$ de latitude Sul e $37^{\circ}24'30''$ de longitude a Oeste de Greenwich.

A região goza de um clima semi-árido, muito quente, com apenas duas estações climáticas: uma seca que geralmente prolonga-se por sete a oito meses, e uma chuvosa que muito raramente ultrapassa os cinco meses. A média anual da precipitação é de 658,8 mm. A distribuição mensal da precipitação se apresenta de modo bastante irregular, ocorrendo maior quantidade de chuvas nos meses de fevereiro, março, abril e maio e quase nenhuma chuva nos meses de agosto, setembro, outubro e novembro (AMORIM & CARMO FILHO, 1981). Conforme mostra o Quadro I do Apêndice, a média anual da temperatura do ar é de $27,4^{\circ}\text{C}$, sendo que o mês mais quente é dezembro, com média de $28,3^{\circ}\text{C}$, e julho o mês mais frio, com média de $26,5^{\circ}\text{C}$. As temperaturas máxima e mínima do ar têm valores médios iguais a $33,3$ e $22,5^{\circ}\text{C}$, respectivamente. A umidade relativa média do ar é de 68%. Os ventos predominantes são de NE e SE, com velocidade média anual de 4,1 m/s. Segundo a classificação climática de KOEPPEN, o clima da região é do tipo BSw'h', ou seja, seco, muito quente.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PAPAIBA
P.O. Caixa Postal 1000 - Mossoró - RN
Coordenação Geral de Ensino e Pesquisa
Rua Afonso de Albuquerque, 100 - Mossoró - RN
55.100 - Mossoró - RN

De acordo com ALVES (1983), o solo da área do estudo é um LATOSSOLO VERMELHO AMARELO, com alto teor de areia grossa, sendo classificado texturalmente como areia. É um solo muito profundo e poroso, com alta capacidade de infiltração de água.

2. Descrição do sistema de aspersão usado nos testes

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

a) conjunto eletro-bomba composto de um motor elétrico marca ARNO de 15 CV, 380 V e 60 Hz e uma bomba centrífuga marca KSB de eixo horizontal, para vazão de $51 \text{ m}^3/\text{h}$ e pressão de $4,5 \text{ kgf/cm}^2$;

b) tubulação para sucção, completa, de aço zincado, de 108 mm de diâmetro e 5m de comprimento;

c) tubulação principal e lateral de tubos de PVC rígido, com engate rápido, de 76 mm de diâmetro e 6 m de comprimento;

d) tubos de elevação dos aspersores, de 25,4 mm de diâmetro e alturas de 0,5; 1 e 2m;

e) aspersores marca PERROT, fabricados pela ASBRASIL NORDESTE IRRIGAÇÃO LTDA¹, modelo ZED-30, com bocais de 5,0 x 5,5 mm², 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

¹/ ASBRASIL NORDESTE IRRIGAÇÃO LTDA - Recife-PE.

²/ Segundo informação pessoal de LEONILDO ALVES DA SILVA, esse tamanho de bocal é o mais vendido pela ASBRASIL NORDESTE IRRIGAÇÃO LTDA.

sistema de irrigação por aspersão, testaram-se os seguintes tratamentos:

a) Espaçamento dos aspersores:

1 - 12 x 12 m

2 - 12 x 18 m

3 - 12 x 24 m

4 - 18 x 18 m

5 - 18 x 24 m

b) Altura do tubo de elevação:

1 - 0,5 m

2 - 1,0 m

3 - 2,0 m

Com a finalidade de avaliar os efeitos das condições climáticas, testaram-se as seguintes:

a) velocidade do vento entre 2,34 e 6,28 m/s;

b) temperatura do ar entre 28,4 e 34,4° C;

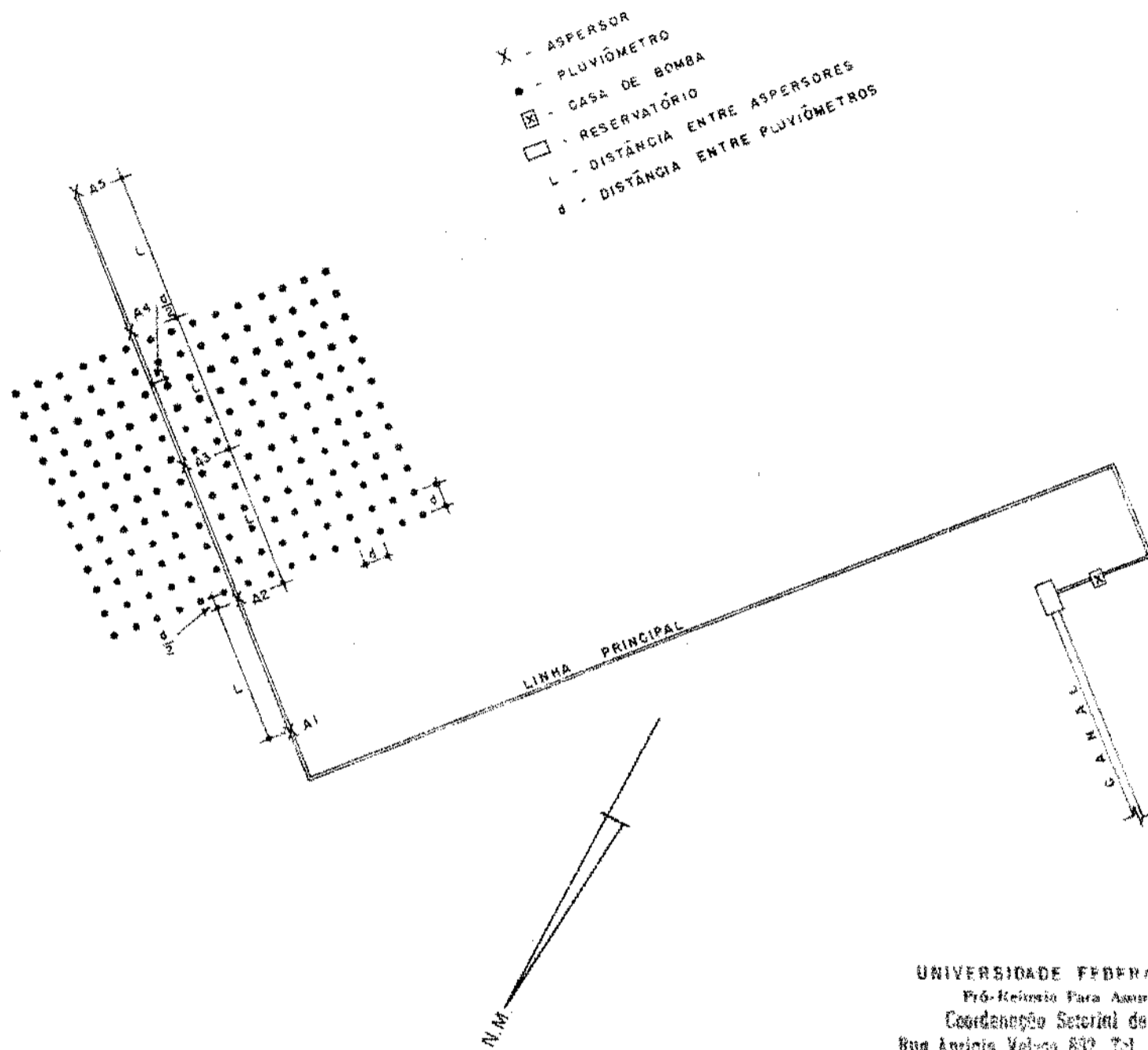
c) umidade relativa entre 33,0 e 70,0%.

4. Procedimento experimental

4.1. Procedimento de campo

Os testes foram conduzidos numa área plana, sem vegetação, na qual foram instalados a nível ladrilhos hidráulicos de 1,5cm de altura, para localização dos pluviômetros. No centro da área instalou-se uma linha lateral com 5 aspersores. A Figura 2 apresenta um esquema do aparelho experimental.

A metodologia empregada para avaliação do desempenho do sistema de aspersão foi a sugerida por MERRIAM & KELLER (1978). A coleta da precipitação dos aspersores foi feita na área compreendida entre os aspersores A_2 e A_4 (Fig. 2). O tempo de fun



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso, 830 Tel. (83) 321 7222-W 355
 58.100 - Campina Grande - Paraíba

Figura 2 - Esquema do aparelho experimental

cionamento do sistema em cada teste, na coleta da precipitação, foi de uma hora, de acordo com as recomendações da ASAE (1973).

Para a coleta da precipitação dos aspersores foram utilizados como pluviômetros latas de óleo lubrificante de um litro. Estes recipientes eram colocados no centro de malhas quadradas, em que a área compreendida entre os aspersores A_2 e A_4 era dividida. Estas malhas quadradas eram de $9m^2$, quando o espaçamento entre aspersores era de $18m$, e de $4m^2$, quando esse espaçamento era de $12m$. O número e distribuição dos pluviômetros usados em qualquer tratamento dependia da velocidade e direção do vento, ou mais, especificamente, do alcance dos jatos d'água aplicados pelos aspersores.

Em cada teste, adotou-se o seguinte procedimento:

a) Colocou-se o sistema em funcionamento e, inicialmente, quantificou-se a vazão dos aspersores A_2 , A_3 e A_4 , através do processo direto, no qual determinou-se o volume de água des^ucarregado pelos bocais de cada aspersor num recipiente com um gargalo graduado, durante um certo intervalo de tempo. Os jatos de água dos bocais foram desviados para o interior do recipiente através de tubulações plásticas conectadas aos bocais propulsor e ejetor. A vazão de cada aspersor foi a média de três repetições. Durante a determinação da vazão, foi medida a pressão de serviço dos aspersores no bocal ejetor, utilizando-se um manômetro acoplado a um tubo de Pitot. Essa operação teve por finalidade conhecer a pressão de serviço e mantê-la constante no transcurso do teste, sendo que em todos os testes o sistema operou na faixa de $3,2$ a $3,5 \text{ kgf/cm}^2$. De acordo com ZIMMERMAM (1970), essa faixa é a mais recomendada para as dimensões dos bocais utilizados e condições de vento reinantes no local. Por ocasião dessas determinações, a seção de captação dos pluviômetros foi mantida para baixo;

b) Em continuação, desligou-se o sistema para colocar os pluviômetros com a seção de captação voltada para cima. Adicionou-se, então, 50 ml de óleo diesel em cada pluviômetro, com o propósito de reduzir as perdas por evaporação do volume de água coletado;

c) Com o sistema e os pluviômetros em condições de trabalho, iniciou-se o teste;

d) No decorrer do teste foram avaliadas a velocidade e direção do vento, a temperatura e umidade relativa do ar, a velocidade de rotação e a pressão de serviço dos aspersores. A velocidade e direção do vento foram tomadas em intervalos de 10 e 5 minutos, respectivamente. Utilizou-se para essa avaliação um anemômetro de conchas e um leme, instalados na altura de 2m em relação ao solo. Uma bússola, instalada próxima ao anemômetro, permitiu a leitura do ângulo entre a direção do vento e a linha lateral. A temperatura e a umidade relativa do ar foram determinadas através de termômetros de bulbos seco e úmido, instalados em um abrigo meteorológico a 1,2m de altura. As leituras foram efetuadas em intervalos de 20 minutos. A velocidade de rotação dos aspersores foi determinada através de um dispositivo especial acoplado ao tubo de elevação, capaz de medir a velocidade angular em quatro setores de 90° , sendo essa avaliação efetuada quatro vezes durante o teste. A verificação da pressão de serviço foi realizada três vezes durante a realização do teste, utilizando-se o conjunto manômetro - tubo de Pitot;

e) Após uma hora de teste, desligava-se o sistema e o volume coletado em cada pluviômetro era quantificado através de provetas de 100 e 250 ml, anotando-se os resultados em fichas apropriadas, para posterior análise

4.2. Avaliação dos parâmetros estudados

A taxa de aplicação de água foi considerada como sendo igual à precipitação média obtida na área compreendida entre quatro aspersores, sendo determinada pela seguinte equação:

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (2)$$

onde:

\bar{P} = precipitação média (mm);

P_i = precipitação obtida em cada pluviômetro (mm);

n = número de pluviômetros.

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

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - \bar{P}|}{n\bar{P}} \right) \quad (3)$$

onde:

CUC = coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

P_i = precipitação obtida em cada pluviômetro (mm);

\bar{P} = precipitação média (mm);

n = número de pluviômetros.

Esses dois parâmetros foram determinados para os espaçamentos de 12 x 12, 12 x 18, 12 x 24, 18 x 18 e 18 x 24 m. Os dados de precipitação para esses espaçamentos foram obtidos pela superposição dos valores registrados no campo. Para cada espaçamento, a precipitação média e o coeficiente de uniformidade foram distintamente calculados para as duas áreas de coleta da precipitação (uma compreendida entre os aspersores A_2 e A_3 e a

outra entre os aspersores A_3 e A_4). A média das precipitações médias das duas áreas foi considerada como sendo a taxa de aplicação de água no espaçamento em estudo. Do mesmo modo, considerou-se a média dos coeficientes das duas áreas como sendo a uniformidade de distribuição de água no espaçamento estudado.

As perdas por evaporação do jato d'água foram determinadas pela diferença entre o volume de água aplicado na área compreendida entre dois aspersores adjacentes e o volume de água nela coletado (FROST & SCHWALEN, 1955; KRAUS, 1966; OLITTA, 1977), sendo distintamente calculados para as duas áreas de coleta da precipitação mencionadas anteriormente. Para cada teste, considerou-se a média desses dois resultados como sendo o valor das perdas por evaporação da água aplicada pelos aspersores.

5. Análise dos resultados

Os efeitos do espaçamento dos aspersores e da altura do tubo de elevação sobre os três parâmetros estudados (taxa de aplicação, uniformidade de distribuição de água e perdas de água por evaporação) foram determinados através da comparação das médias dos diferentes tratamentos, sendo usado o teste t na análise estatística dessa comparação.

Foram também analisados os efeitos da velocidade do vento sobre a taxa de aplicação e a uniformidade de distribuição de água, sendo estabelecidas equações de regressão linear da precipitação média e do coeficiente de uniformidade de Christiansen, em função daquele fator climático. Na análise estatística, usou-se o teste F para a determinação da significância dos coeficientes de determinação (R^2). Analisou-se ainda os efeitos dos fatores climáticos (velocidade do vento, temperatu

ra e umidade relativa do ar) sobre as perdas de água por evaporação, através do estabelecimento de equações de regressão linear múltipla dessas perdas, em função daqueles fatores. Na análise estatística, usou-se o teste t para a determinação da significância dos coeficientes de regressão (b) e o teste F para as análises de variância. A contribuição de cada fator climático nas variações das perdas foi determinada através dos coeficientes de regressão padrão (b'), descritos por YAMANE (1967).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS E DISCUSSÃO

1. Taxa de aplicação de água

As precipitações médias obtidas com testes conduzidos com alturas do tubo de elevação de 0,5; 1,0 e 2m e espaçamentos entre aspersores de 12 e 18m, para diferentes velocidades do vento, são apresentadas nos Quadros 3 a 8.

1.1. Influência da altura do tubo de elevação

Análises dos resultados permitem observar que em geral a precipitação média não foi afetada pela altura do tubo de elevação. Este fato evidenciou-se através da comparação das médias dos diferentes tratamentos pelo teste t , apresentada no Quadro III do Apêndice, cujos resultados mostraram que as diferenças encontradas não foram significativas ao nível de 1% de probabilidade.

1.2. Influência do espaçamento dos aspersores

Como indicado por vários autores (PILLSBURY, 1968; OLIVITA, 1977; BERNARDO, 1982; RIBEIRO, 1982), a precipitação média diminuiu com o aumento do espaçamento dos aspersores. O espaçamento de 12 x 12m apresentou precipitações médias superiores a 22 mm/h, valor considerado elevado, podendo trazer problemas de empoçamento e escoamento superficial para quase to-

QUADRO 3 - Precipitação média e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), versus velocidade do vento, para os testes realizados com a altura do tubo de elevação de 0,5 m e o espaçamento entre aspersores de 12 m.

Velocidade do Vento	Precipitação média			Coeficiente de uniformidade			
	Espaçamento (m)			Espaçamento (m)			
	12 x 12	12 x 18	12 x 24	12 x 12	12 x 18	12 x 24	
m/s	mm/h			%			
3,12	24,43	16,29	12,22	82,68	80,71	53,84	
3,62	24,81	16,54	12,41	78,95	80,72	51,43	
4,10	24,30	16,21	12,15	81,66	75,33	45,79	
4,19	24,38	16,25	12,19	78,57	71,94	42,20	
4,19	24,50	16,34	12,25	81,34	76,29	46,80	
4,27	24,10	16,07	12,05	79,63	71,14	48,62	
4,47	23,23	15,49	11,62	82,65	76,36	45,92	
4,53	22,38	14,92	11,19	80,14	73,89	51,85	
4,84	24,10	16,07	12,06	77,89	71,60	48,26	
4,95	22,86	15,24	11,43	75,34	66,49	43,32	
5,11	22,61	15,07	11,30	79,13	72,73	49,25	
5,79	23,07	15,38	11,53	80,96	70,36	46,22	
\bar{X}	4,43	23,73	15,82	11,87	79,91	73,96	47,79
S	0,70	0,84	0,56	0,42	2,13	4,18	3,46
C. V. (%)	15,80	3,54	3,54	3,54	2,67	5,65	7,24

\bar{X} - Média
S - Desvio Padrão
C. V. - Coeficiente de Variação

QUADRO 4 - Precipitação média e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), versus velocidade do vento, para os testes realizados com a altura do tubo de elevação de 1m e o espaçamento entre aspersores de 12m.

Velocidade do Vento	Precipitação média			Coeficiente de uniformidade		
	Espaçamento (m)			Espaçamento (m)		
	12 x 12	12 x 18	12 x 24	12 x 12	12 x 18	12 x 24
m/s	mm/h			%		
3,38	24,14	16,09	12,07	88,88	81,70	54,36
3,43	25,40	16,94	12,70	85,00	79,01	48,99
3,52	24,05	16,04	12,02	86,73	80,30	51,17
3,74	24,96	16,64	12,48	83,70	77,53	46,56
3,90	24,62	16,42	12,31	84,30	84,01	53,35
4,02	23,41	15,61	11,71	82,72	81,50	51,30
4,05	23,67	15,78	11,84	83,55	78,60	48,40
4,14	25,85	17,23	12,93	86,49	73,85	45,66
4,50	24,84	16,56	12,42	84,59	73,49	44,73
5,09	23,65	15,77	11,83	81,71	67,57	42,75
5,33	23,87	15,91	11,93	80,81	69,81	45,59
5,61	22,31	14,88	11,16	82,65	73,42	48,39
5,86	22,41	14,94	11,21	83,55	74,91	48,35
5,88	22,56	15,04	11,28	81,58	71,44	48,82
6,26	23,41	15,61	11,70	82,69	66,36	39,98
X 4,58	23,94	15,96	11,97	83,93	75,57	47,89
S 1,00	1,06	0,71	0,53	2,17	5,36	3,85
C.V. (%) 21,83	4,43	4,45	4,43	2,59	7,09	8,04

X - Média
S - Desvio Padrão
C.V. - Coeficiente de Variação

QUADRO 5 - Precipitação média e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), versus velocidade do vento, para os testes realizados com altura do tubo de elevação de 2m e o espaçamento entre aspersores de 12m.

Velocidade do Vento	Precipitação média			Coeficiente de uniformidade			
	Espaçamento (m)			Espaçamento (m)			
	12 x 12	12 x 18	12 x 24	12 x 12	12 x 18	12 x 24	
m/s	mm/h			%			
3,19	24,57	16,38	12,28	87,01	87,85	56,15	
3,39	24,42	16,28	12,21	87,04	86,18	54,97	
3,50	23,60	15,74	11,81	86,00	84,02	56,37	
3,75	24,05	16,03	12,03	87,09	84,16	54,01	
3,81	23,19	15,47	11,60	87,07	85,19	57,89	
4,08	25,12	16,75	12,56	85,25	83,55	59,85	
4,17	24,06	16,04	12,03	85,96	82,96	57,19	
4,31	24,36	16,24	12,18	84,17	81,04	56,14	
4,69	23,85	15,91	11,93	88,99	79,50	48,11	
4,78	23,05	15,37	11,53	84,92	78,88	54,20	
4,86	23,52	15,68	11,76	89,09	80,64	49,18	
5,19	23,66	15,77	11,83	83,48	77,46	54,38	
5,53	22,85	15,23	11,43	87,43	76,56	48,55	
5,83	22,00	14,67	11,00	87,63	76,92	50,18	
5,92	22,84	15,23	11,42	88,59	77,64	50,57	
\bar{X}	4,47	23,68	15,79	11,84	86,65	81,50	53,85
S	0,88	0,80	0,54	0,40	1,68	3,63	3,68
C.V. (%)	19,69	3,38	3,42	3,38	1,94	4,45	6,83

\bar{X} - Média
 S - Desvio Padrão
 C.V. - Coeficiente de Variação

QUADRO 6 - Precipitação média e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), versus velocidade do vento, para os testes realizados com a altura do tubo de elevação de 0,5m e o espaçamento entre aspersores de 18m.

Velocidade do Vento	Precipitação média		CUC	
	Espaçamento (m)		Espaçamento (m)	
	18 x 18	18 x 24	18 x 18	18 x 24
m/s	mm/h		%	
2,34	10,95	8,21	79,41	62,22
2,74	10,76	8,07	78,19	57,59
2,95	10,77	8,08	70,54	54,24
2,95	10,72	8,04	78,77	57,09
3,12	10,49	7,87	79,78	57,80
3,18	10,35	7,77	75,82	52,95
4,00	10,26	7,69	72,34	49,62
4,06	10,86	8,14	71,47	42,91
4,30	10,44	7,83	70,10	51,46
4,30	10,47	7,86	67,37	48,70
4,71	10,05	7,54	64,29	45,02
4,95	9,92	7,44	63,73	44,10
\bar{X} 3,63	10,50	7,88	72,65	51,98
S 0,85	0,32	0,24	5,76	6,12
C.V. (%) 23,42	3,05	3,05	7,93	11,77

\bar{X} - Média

S - Desvio Padrão

C.V. - Coeficiente de Variação

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso 171 - Tel. (081) 321 7222-R 357
 58.100 - Campus Grande - Paraíba

QUADRO 7 - Precipitação média e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), versus velocidade do vento, para os testes realizados com a altura do tubo de elevação de 1m e o espaçamento entre aspersores de 18m.

Velocidade do Vento	Precipitação média		CUC		
	Espaçamento (m)		Espaçamento (m)		
	18 x 18	18 x 24	18 x 18	18 x 24	
m/s	mm/h		%		
3,40	10,76	8,07	80,61	53,83	
3,50	11,05	8,29	76,32	49,01	
3,68	10,46	7,85	77,51	48,26	
3,90	10,83	8,13	74,87	51,13	
4,05	10,57	7,93	74,20	49,71	
4,11	10,62	7,97	71,68	43,37	
4,17	10,75	8,06	73,38	44,41	
4,45	10,31	7,73	69,85	48,09	
4,60	9,95	7,47	78,12	48,36	
4,85	9,76	7,32	70,36	47,89	
4,90	9,85	7,39	67,32	45,44	
5,40	10,21	7,66	62,46	42,05	
5,45	10,38	7,79	57,86	35,33	
5,71	10,30	7,73	63,74	39,60	
5,83	10,46	7,85	54,79	32,52	
5,83	10,07	7,55	56,18	31,99	
5,92	9,54	7,16	65,32	42,40	
X	4,69	10,35	7,76	69,09	44,32
S	0,87	0,41	0,31	7,95	6,38
C.V. (%)	18,55	3,96	3,99	11,51	14,40

X - Média

S - Desvio Padrão

C.V. - Coeficiente de Variação

QUADRO 8 - Precipitação média e coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), versus velocidade do vento, para os testes realizados com a altura do tubo de elevação de 2m e o espaçamento entre aspersores de 18m.

Velocidade do Vento	Precipitação média		CUC	
	Espaçamento (m)		Espaçamento (m)	
	18 x 18	18 x 24	18 x 18	18 x 24
m/s	mm/h		%	
3,14	10,32	7,74	84,85	62,38
3,47	10,44	7,83	81,99	58,58
3,86	10,67	8,01	79,47	54,56
3,97	10,71	8,04	79,88	58,31
4,06	10,31	7,73	79,65	50,76
4,17	10,62	7,96	82,48	58,91
4,33	10,49	7,87	77,90	52,63
4,56	10,20	7,65	76,22	49,81
4,69	10,53	7,90	76,52	51,94
4,83	9,90	7,42	75,59	48,98
5,22	10,24	7,68	70,98	47,33
5,36	10,28	7,71	70,08	46,26
5,72	9,89	7,42	71,27	45,25
5,78	9,50	7,13	74,06	50,60
5,86	10,22	7,67	67,71	47,07
6,06	9,98	7,49	70,57	47,10
6,28	9,92	7,44	69,52	47,26
\bar{X} 4,79	10,25	7,69	75,81	51,63
S 0,95	0,33	0,25	5,16	5,19
C.V. (%) 19,83	3,22	3,25	6,81	10,05

\bar{X} - Média

S - Desvio Padrão

C.V. - Coeficiente de Variação

dos os solos médios e pesados, conforme mostra o Quadro 1. As precipitações médias obtidas com os espaçamentos de 12 x 18 e 12 x 24m (superiores a 15 e 11 mm/h, respectivamente) ainda são consideradas elevadas por PILLSBURY (1968), especialmente para solos francos e argilosos (ver Quadro 1). Os espaçamentos de 18 x 18 e 18 x 24m produziram precipitações médias nas faixas de 9,5 e 11 mm/h, e 7,1 e 8,3 mm/h, respectivamente. De acordo com as especificações anteriormente citadas, esses valores podem ocasionar algum escoamento superficial, especialmente em solos de textura fina. Para o solo da área do estudo, considerando a sua alta capacidade de infiltração de água, verifica-se que as precipitações médias produzidas pelos espaçamentos estudados não ocasionariam qualquer problema de empoçamento e/ou escoamento superficial.

Essa diminuição da precipitação média com o aumento do espaçamento é bastante óbvia, já que a taxa de água aplicada é inversamente proporcional à área do espaço.

1.3. Influência da velocidade do vento

Análises dos resultados permitem observar que em geral, para qualquer espaçamento e/ou altura do tubo de elevação, a precipitação média diminuiu com o aumento da velocidade do vento. Equações de regressão dos resultados são apresentadas no Quadro 9. Embora os coeficientes de determinação não tenham sido muito altos, eles foram significativos ao nível de 1% de probabilidade, em praticamente todos os casos estudados. Para as mesmas especificações do sistema de aspersão testado, o uso dessas equações poderia não estimar adequadamente os valores de precipitação média a partir unicamente de dados de velocidade do vento. Assim, para valores de $R^2 = 0,5$, somente 50% da

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAIBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprísio Veloso, 832 - Tel. (321) 321-7222-N 355
 58-460 - Campina Grande - Paraíba

QUADRO 9 - Equações de regressão para a precipitação média (\bar{P}) em função da velocidade do vento (VV), e coeficientes de determinação (R^2), para os diferentes espaçamentos e alturas do tubo de elevação.

Espaçamentos	Alturas do tubo de elevação	Equações de regressão		R^2
		$\bar{P} = a + b \text{ VV}$		
m	m			
12 x 12	0,5	$\bar{P} = 27,43 - 0,83 \text{ VV}$	0,48*	
	1,0	$\bar{P} = 27,36 - 0,75 \text{ VV}$	0,49**	
	2,0	$\bar{P} = 26,64 - 0,66 \text{ VV}$	0,53**	
12 x 18	0,5	$\bar{P} = 18,30 - 0,56 \text{ VV}$	0,48*	
	1,0	$\bar{P} = 18,24 - 0,50 \text{ VV}$	0,49**	
	2,0	$\bar{P} = 17,76 - 0,44 \text{ VV}$	0,53**	
12 x 24	0,5	$\bar{P} = 13,73 - 0,42 \text{ VV}$	0,48*	
	1,0	$\bar{P} = 13,68 - 0,37 \text{ VV}$	0,49**	
	2,0	$\bar{P} = 13,32 - 0,33 \text{ VV}$	0,53**	
18 x 18	0,5	$\bar{P} = 11,56 - 0,29 \text{ VV}$	0,59**	
	1,0	$\bar{P} = 11,83 - 0,32 \text{ VV}$	0,45**	
	2,0	$\bar{P} = 11,39 - 0,24 \text{ VV}$	0,49**	
18 x 24	0,5	$\bar{P} = 8,67 - 0,22 \text{ VV}$	0,59**	
	1,0	$\bar{P} = 8,87 - 0,24 \text{ VV}$	0,45**	
	2,0	$\bar{P} = 8,54 - 0,18 \text{ VV}$	0,48**	

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

variação da precipitação média seria devido à velocidade do vento. Para uma melhor estimativa, seria necessário a inclusão de outras variáveis como a pressão de serviço do aspersor, temperatura e umidade relativa do ar.

2. Uniformidade de distribuição de água

Os resultados dos coeficientes de uniformidade de Christiansen, obtidos com os diferentes espaçamentos e alturas dos tubos de elevação estudados, para diferentes velocidades do vento, são apresentados também nos Quadros 3 a 8.

2.1. Influência da altura do tubo de elevação

Para qualquer espaçamento, evidenciou-se que os maiores coeficientes foram obtidos com o tubo de elevação a 2m de altura. Resultados semelhantes foram obtidos por WIERSMA (1955), PAIR et alii (1969) e GOMIDE (1978). Observa-se que com o espaçamento entre aspersores de 18m, para a altura do tubo de elevação de 0,5m, os coeficientes de uniformidade foram maiores que aqueles obtidos para a altura de 1,0m. Isso pode ser explicado devido a que os testes da primeira elevação (0,5m) foram realizados sob velocidades de vento menores que quando o tubo de elevação estava a 1,0m (ver Quadros 6 e 7). Considerando-se para ambas alturas os mesmos intervalos de velocidade do vento (entre 4 e 4,95 m/s), verifica-se que os coeficientes de uniformidade para a altura de 0,5m, e espaçamentos de 18 x 18 e 18 x 24m, foram 68,22 e 46,97%, respectivamente. Já com a altura de 1,0m, para os mesmos espaçamentos, os coeficientes de uniformidade foram 72,13 e 46,75%, respectivamente.

A comparação das médias dos coeficientes de uniformidade pelo teste t, mostrada no Quadro IV do Apêndice, eviden-

ciou que, para quase todos os casos estudados, as diferenças encontradas, entre os resultados obtidos com a altura de 2,0m e aqueles obtidos com as alturas de 1,0 e 0,5m, foram significativas ao nível de 1% de probabilidade. São em um dos casos, houve a significância a 5% de probabilidade. As diferenças constatadas, entre os resultados das alturas de 1,0 e 0,5m, não foram significativas, a não ser no espaçamento de 12 x 12m.

2.2. Influência do espaçamento dos aspersores

Verifica-se que os maiores coeficientes de uniformidade foram obtidos para os espaçamentos menores (12 x 12 e 12 x 18m), confirmando os estudos de MOLENAAR et alii (1954), GOMIDE (1978) e RIBEIRO (1982). O espaçamento de 12 x 12m, com exceção da altura do tubo de elevação de 0,5m, apresentou todos os coeficientes superiores a 80%, atingindo para a altura de 2m valores de até 89%. Se for considerado como satisfatório um coeficiente de uniformidade superior a 70%, como sugerido por KARMELI (1978), verifica-se que, para esse espaçamento, todos os testes apresentaram uma uniformidade de aplicação satisfatória. Se for considerada como satisfatória uma uniformidade cujo coeficiente fosse superior a 80%, como sugerido por FRY & GRAY (1969), PERA (1971) e BERNARDO (1982), somente alguns testes conduzidos com a altura de 0,5m não seriam considerados satisfatórios.

O espaçamento de 12 x 18m apresentou coeficientes de uniformidade médios de 73,96; 75,57 e 81,50% para as alturas do tubo de elevação de 0,5; 1 e 2m, respectivamente. Se for considerado como satisfatório um coeficiente de uniformidade superior a 70%, verifica-se que, para esse espaçamento, praticamente todos os testes apresentaram uma uniformidade satisfatória. Por outro lado, se for considerada como satisfatória uma

uniformidade cujo coeficiente fosse superior a 80%, verifica-se que, para esse espaçamento, isso ocorreu para os testes conduzidos com a altura do tubo de elevação de 2m e velocidades do vento abaixo de 5 m/s, como também para os testes efetuados com as alturas de 1 e 0,5m e velocidades do vento abaixo de 4m/s.

O espaçamento de 12 x 24m originou coeficientes de uniformidade inferiores a 60%, considerados inaceitáveis na irrigação por aspersão. Os baixos coeficientes encontrados poderiam ser explicados pelo fato de que a distância entre as linhas laterais (24m) teria sido muito grande, originando assim uma inadequada superposição dos jatos de água, com a consequente ocorrência de baixa aplicação de água em alguns pontos da área irrigada.

Para o espaçamento de 18 x 18m, os coeficientes de uniformidade médios foram de 72,65, 69,09 e 75,81%, para as alturas do tubo de elevação de 0,5; 1 e 2m, respectivamente. Se for considerado como satisfatório um coeficiente de uniformidade superior a 70%, verifica-se que, para esse espaçamento, praticamente todos os testes efetuados com a altura do tubo de elevação de 2m apresentaram uma uniformidade satisfatória. Já para os testes conduzidos com as alturas de 0,5 e 1m, isso só ocorreu para velocidades do vento inferiores a 4,3 e 5,0 m/s, respectivamente. Por outro lado, se for considerada como satisfatória uma uniformidade cujo coeficiente fosse superior a 80%, verifica-se que, para esse espaçamento, isso só ocorreu para os testes efetuados com a altura de 2m e velocidades do vento abaixo ou em torno de 4 m/s. Conclusão similar foi obtida por GOMIDE (1978). Alturas do tubo de elevação de 0,5 e 1m não produziram adequadas uniformidades.

O espaçamento de 18 x 24m, da mesma maneira que o de

12 x 24m, produziu uniformidades geralmente inferiores a 60%, consideradas inadequadas.

Observa-se também que, para cada altura do tubo de elevação e espaçamento entre aspersores testados, o aumento do espaçamento entre linhas laterais provocou diminuição no coeficiente de uniformidade. Uma comparação das médias desses coeficientes pelo teste t, mostrada nos Quadros V e VI do Apêndice, evidenciou que as diferenças constatadas foram significativas ao nível de 1% de probabilidade.

2.3. Influência da velocidade do vento

Observa-se nos Quadros 3 a 8 que, com exceção do espaçamento de 12 x 12m e altura do tubo de elevação de 2m, a uniformidade de distribuição diminuiu com o aumento da velocidade do vento. Resultados similares têm sido indicados por CHRISTIANSEN (1942), MOLENAAR et alii (1954), WIERSMA (1955), GOMIDE (1978), ARRUDA (1981) e RIBEIRO (1982). O fato de que no espaçamento de 12 x 12m e altura do tubo de elevação de 2m não se evidenciou o mesmo efeito do vento, poderia ser explicado se for considerado que a ação do vento é menos pronunciada para espaçamentos pequenos (CHRISTIANSEN, 1942; MOLENAAR et alii, 1954), o que foi confirmado pelas altas uniformidades obtidas nesse caso (média de 87%).

Os resultados das equações de regressão dos coeficientes de uniformidade de Christiansen, em função da velocidade do vento, são apresentados no Quadro 10. Verifica-se que a equação de regressão para o espaçamento de 12 x 12m e altura do tubo de elevação de 2m foi a única com o coeficiente b positivo e o coeficiente de determinação extremamente baixo, confirmando o que já foi relatado anteriormente

QUADRO 10 - Equações de regressão para o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) em função da velocidade do vento (VV), e coeficientes de determinação (R^2), para os diferentes espaçamentos e alturas do tubo de elevação.

Espaçamentos	Alturas do tubo de elevação	Equações de regressão CUC = a + b VV	R^2
m	m		
12 x 12	0,5	CUC = 84,50 - 1,04 VV	0,12
	1,0	CUC = 90,83 - 1,51 VV	0,48**
	2,0	CUC = 85,03 + 0,36 VV	0,04
12 x 18	0,5	CUC = 94,45 - 4,62 VV	0,60**
	1,0	CUC = 95,37 - 4,32 VV	0,64**
	2,0	CUC = 99,07 - 3,93 VV	0,91**
12 x 24	0,5	CUC = 57,43 - 2,18 VV	0,19
	1,0	CUC = 58,24 - 2,26 VV	0,34*
	2,0	CUC = 66,62 - 2,86 VV	0,47**
18 x 18	0,5	CUC = 94,58 - 6,04 VV	0,80**
	1,0	CUC = 107,46 - 8,18 VV	0,80**
	2,0	CUC = 100,15 - 5,09 VV	0,88**
18 x 24	0,5	CUC = 75,61 - 6,50 VV	0,82**
	1,0	CUC = 72,88 - 6,09 VV	0,69**
	2,0	CUC = 74,09 - 4,69 VV	0,74**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

Análises do Quadro 10 permitem observar que, para os espaçamentos de 12 x 18, 12 x 24 e 18 x 18m, as correlações entre a velocidade do vento e o coeficiente de uniformidade foram mais significativas para a altura do tubo de elevação de 2m, indicando assim que, para essa altura, o efeito do vento é mais expressivo que quando o aspersor encontra-se a 0,5m e 1,0m de altura. Conclusão similar foi relatada por GOMIDE (1978).

Verifica-se ainda que a ação do vento foi mais significativa para os espaçamentos de 12 x 18, 18 x 18 e 18 x 24m. Para esses espaçamentos e, principalmente, para a altura do tubo de elevação de 2m, as equações de regressão obtidas poderiam estimar adequadamente a uniformidade de distribuição de água a partir unicamente de dados de velocidade do vento. Logicamente, para as pressões de serviço e especificações do equipamento usado durante o estudo.

3. Perdas de água por evaporação

Os resultados das perdas de água por evaporação, obtidos com os diferentes espaçamentos entre aspersores ao longo da lateral e alturas do tubo de elevação estudadas, para diferentes velocidades do vento, temperaturas e umidades relativas do ar, são mostrados nos Quadros 11 a 16.

Verifica-se que as perdas por evaporação variaram de 6,30 a 19,75%, sendo que somente em 16% dos testes elas foram inferiores a 10%. CLARK & FINLEY (1975) encontraram perdas superiores a 10%, para velocidades do vento superiores a 4,5 m/s. No presente estudo, as velocidades do vento foram geralmente superiores a 3 m/s, sendo, em 45% dos testes, superiores a 4,5 m/s, atingindo valores máximos de 6,3 m/s. Para veloci-

QUADRO 11 - Perdas de água por evaporação para testes conduzidos com a altura do tubo de elevação de 0,5m e espaçamento entre aspersores de 12m, sob diferentes velocidades do vento, temperaturas e umidades relativas do ar.

Velocidade do Vento	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar	Perdas por Evaporação
<u>m/s</u>	<u>°C</u>	<u>%</u>	<u>%</u>
3,12	31,3	46	8,62
3,62	29,4	61	9,01
4,10	33,0	43	10,02
4,19	30,4	55	9,52
4,19	32,2	43	10,60
4,27	30,0	59	9,61
4,47	33,2	39	12,61
4,53	34,2	42	14,97
4,84	31,0	56	10,31
4,95	30,9	55	14,51
5,11	33,3	50	14,92
5,79	32,2	53	16,48
\bar{X} 4,43	31,76	50,17	11,77
S 0,70	1,49	7,36	2,77
C.V.(%) 15,80	4,69	14,67	23,53

\bar{X} - Média

S - Desvio Padrão

C.V. - Coeficiente de Variação

QUADRO 12 - Perdas de água por evaporação para testes conduzidos com a altura do tubo de elevação de 1m e espaçamento entre aspersores de 12m, sob diferentes velocidades do vento, temperaturas e umidades relativas do ar.

Velocidade do Vento	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar	Perdas por evaporação
m/s	°C	%	%
3,38	32,2	44	12,27
3,43	29,2	60	9,21
3,52	30,1	57	11,25
3,74	29,0	57	10,89
3,90	30,8	47	9,06
4,02	30,5	47	13,13
4,05	32,2	45	12,63
4,14	28,6	70	7,74
4,50	32,0	48	11,45
5,09	31,2	48	14,20
5,33	33,4	38	15,33
5,61	31,0	54	17,20
5,86	31,6	54	16,22
5,88	31,2	53	16,41
6,26	30,8	57	17,02
\bar{X} 4,58	30,92	51,93	12,93
S 1,00	1,31	7,85	3,06
C.V.(%) 21,83	4,24	15,12	23,67

\bar{X} - Média

S - Desvio Padrão

C.V. - Coeficiente de Variação

QUADRO 13 - Perdas de água por evaporação para testes conduzidos com a altura do tubo de elevação de 2m e espaçamento entre aspersores de 12m, sob diferentes velocidades do vento, temperaturas e umidades relativas do ar.

Velocidade do Vento	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar	Perdas por evaporação
m/s	°C	%	%
3,19	31,8	42	10,86
3,39	29,7	55	9,28
3,50	32,5	33	14,84
3,75	31,6	45	12,66
3,81	31,7	47	13,52
4,08	29,2	58	10,26
4,17	32,0	39	13,62
4,31	29,8	53	11,00
4,69	30,5	52	13,24
4,78	31,0	52	13,49
4,86	30,3	46	13,47
5,19	32,4	38	15,67
5,53	31,0	55	16,79
5,83	30,9	54	17,57
5,92	31,5	47	17,48
\bar{X} 4,47	31,06	47,73	13,58
S 0,88	1,00	7,30	2,56
.V. (%) 19,69	3,22	15,29	18,85

\bar{X} - Média

S - Desvio Padrão

C.V. - Coeficiente de Variação

QUADRO 14 - Perdas de água por evaporação para testes conduzidos com a altura do tubo de elevação de 0,5m e espaçamento entre aspersores de 18m, sob diferentes velocidades do vento, temperaturas e umidades relativas do ar.

Velocidade do Vento	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar	Perdas por evaporação
<u>m/s</u>	<u>°C</u>	<u>%</u>	<u>%</u>
2,34	30,5	61	6,30
2,74	31,0	58	9,19
2,95	30,6	56	9,61
2,95	30,4	58	8,95
3,12	31,7	55	9,99
3,18	32,1	50	10,63
4,00	32,4	48	13,06
4,06	29,8	56	9,97
4,30	30,9	58	10,26
4,30	30,7	56	11,36
4,71	31,6	60	13,96
4,95	32,1	53	15,82
\bar{X} 3,63	31,15	55,75	10,76
S 0,85	0,81	3,84	2,52
C.V. (%) 23,42	2,60	6,89	23,42

\bar{X} - Média

S - Desvio Padrão

C.V. - Coeficiente de Variação

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁÍB
 Rio-Ribeira - Pós-Graduação em Engenharia
 Licenciatura Superior de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso, 852 - Tel. (081) 321-7222-R. 202
 58.100 - Campina Grande - Paraíba

QUADRO 15 - Perdas de água por evaporação para testes conduzidos com a altura do tubo de elevação de 1m e espaçamento entre aspersores de 18m, sob diferentes velocidades do vento, temperaturas e umidades relativas do ar.

Velocidade do Vento	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar	Perdas por evaporação
m/s	°C	%	%
3,40	30,1	39	10,72
3,50	30,3	50	11,77
3,68	32,0	45	14,39
3,90	34,4	39	13,22
4,05	32,0	47	14,25
4,11	32,5	46	13,90
4,17	30,8	56	11,16
4,45	29,8	52	14,13
4,60	33,2	41	18,86
4,85	32,0	43	16,48
4,90	30,9	47	16,88
5,40	28,9	59	14,22
5,45	29,2	59	15,26
5,71	32,9	44	17,85
5,83	32,5	53	16,40
5,83	33,0	43	16,89
5,92	32,2	53	19,64
\bar{X} 4,69	31,57	48,00	15,06
S 0,87	1,54	6,46	2,57
V. (%) 18,55	4,88	13,46	17,07

\bar{X} - Média

S - Desvio Padrão

C.V. - Coeficiente de Variação

QUADRO 16 - Perdas de água por evaporação para testes conduzidos com a altura do tubo de elevação de 2m e espaçamento entre aspersores de 18m, sob diferentes velocidades do vento, temperaturas e umidades relativas do ar.

Velocidade do Vento	Temperatura do ar	Umidade relativa do ar	Perdas por evaporação
m/s	°C	%	%
3,14	31,5	39	13,66
3,47	29,4	56	11,28
3,86	30,0	55	12,35
3,97	28,4	64	10,11
4,06	30,5	50	13,14
4,17	32,2	46	14,21
4,33	30,2	51	12,72
4,56	30,1	51	13,45
4,69	31,2	40	14,75
4,83	31,4	37	18,05
5,22	29,0	54	13,28
5,36	29,8	53	16,78
5,72	31,6	43	15,60
5,78	31,3	44	19,75
5,86	30,1	55	18,54
6,06	30,1	54	18,44
6,28	29,6	62	17,55
\bar{X} 4,79	30,38	50,24	14,92
S 0,95	1,02	7,74	2,82
V. (%) 19,83	3,36	15,41	18,90

\bar{X} - Média

S - Desvio Padrão

C.V. - Coeficiente de Variação

des do vento superiores a 4,5 m/s, as perdas variaram de 10 a 20%.

3.1. Influência da altura do tubo de elevação

Análises dos Quadros 11 a 16 permitem observar que as menores perdas foram obtidas com a altura do tubo de elevação de 0,5m, enquanto que as perdas obtidas com as alturas de 1,0 e 2,0m foram aproximadamente iguais. Assim, para o espaçamento entre aspersores de 12 m e alturas do tubo de elevação de 0,5; 1,0 e 2,0m, as perdas por evaporação médias foram de 11,77; 12,93 e 13,58%, respectivamente. Os mesmos fatos podem ser também observados para os testes conduzidos com o espaçamento entre aspersores de 18 m. Considerando que, para esse espaçamento, os valores de velocidade do vento dos testes conduzidos com a altura de 0,5m (2,34-4,95 m/s) foram inferiores àqueles observados nos testes com as alturas de 1,0m (3,40-5,92 m/s) e 2,0 m (3,14-6,28 m/s), foram utilizados, com fins de comparação, somente os testes efetuados com velocidade do vento entre 4,00 e 4,95 m/s.

A comparação das médias das perdas pelo teste t , apresentada no Quadro VII do Apêndice, mostrou que as diferenças encontradas entre as três alturas testadas não foram significativas, evidenciando assim que o efeito da altura do tubo de elevação sobre as perdas por evaporação não seria importante.

3.2. Influência do espaçamento entre aspersores ao longo da lateral

Observa-se que os valores obtidos para as perdas por evaporação médias foram de 13,58 e 14,92%, para os testes con-

duzidos com a altura do tubo de elevação de 2m e espaçamento entre aspersores de 12 e 18m, respectivamente. Para os testes efetuados com a altura de 1m, registraram-se valores de 12,93 e 15,06%, respectivamente, para os espaçamentos entre aspersores de 12 e 18m. Considerando que para a altura de 0,5m e espaçamento entre aspersores de 18m, os valores de velocidade do vento (2,34 - 4,95m/s) foram inferiores aos observados nos testes conduzidos com o espaçamento de 12m (3,12 - 5,79m/s), utilizou-se, com fins de comparação, somente os testes efetuados com velocidades do vento entre 4,00 e 4,95 m/s. Dessa forma, as perdas por evaporação médias para os espaçamentos de 12 e 18 m foram de 11,52 e 12,41%, respectivamente. Assim, constata-se que as perdas por evaporação obtidas com o espaçamento entre aspersores de 18 m foram maiores que aquelas obtidas com o espaçamento de 12 m. Isso talvez possa ser atribuído ao fato da taxa de aplicação de água do espaçamento de 18 m ser menor que a do espaçamento de 12 m.

Por outro lado, a comparação das médias das perdas pelo teste t, apresentada no Quadro VIII do Apêndice, mostrou que as diferenças encontradas não foram significativas ao nível de 1% de probabilidade, indicando que o efeito do espaçamento entre aspersores sobre as perdas por evaporação também não seria importante.

3.3. Influência dos fatores climáticos

Verifica-se nos Quadros 11 a 16 que as perdas por evaporação aumentaram com a velocidade do vento. No entanto, correlações semelhantes não podem ser definidas para a temperatura e a umidade relativa do ar, surgindo então a necessidade de se estabelecer equações de regressão múltipla das perdas em fun-

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Coordenação Setorial de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso, 832 - Tel. (033) 321 7222-R 355
 58.100 - Campina Grande - Paraíba

ção dos fatores climáticos. Essas equações são apresentadas no Quadro 17. Para a velocidade do vento, os coeficientes de regressão encontrados confirmam que as perdas aumentaram com aquele fator climático. Para os outros fatores, eles mostram que as perdas geralmente aumentaram com a temperatura e diminuíram com o aumento da umidade relativa do ar, concordando com os estudos de CHRISTIANSEN (1942), FROST & SCHWALEN (1955) e STERNBERG (1967).

Observa-se no Quadro 17 e nos Quadros IX e X do Apêndice que os coeficientes de regressão para a velocidade do vento foram significativos a 1% de probabilidade para quase todos os casos estudados. Só em um dos casos, houve a significância a 5% de probabilidade. Quanto aos outros fatores, a temperatura do ar foi significativa somente em dois casos, sendo um a 1% e outro a 5% de probabilidade, enquanto que a umidade relativa do ar não foi significativa em qualquer caso. Isso indica que a velocidade do vento foi o fator climático que mais influenciou as perdas por evaporação.

O Quadro 18 apresenta a contribuição percentual de cada fator climático na variação das perdas por evaporação, para os diferentes espaçamentos entre aspersores e alturas do tubo de elevação testadas. Esse quadro foi elaborado a partir dos resultados dos coeficientes de regressão padrão, mostrados nos Quadros XI e XII do Apêndice. Análise do Quadro 18 permite observar que, em todos os casos estudados, a velocidade do vento foi o fator climático mais importante na variação das perdas, com contribuições que variaram de 35 a 57%. Isso está de acordo com o que foi afirmado a partir dos testes de significância dos coeficientes de regressão das equações das perdas por evaporação. A temperatura do ar foi o segundo fator em importância (contribuições de 2 a 38%), enquanto que a umidade relati-

QUADRO 17 - Equações de regressão múltipla das perdas por evaporação (PE) em função da velocidade do vento (VV), da temperatura do ar (T) e da umidade relativa do ar (UR), e coeficientes de determinação (R^2), para os diferentes espaçamentos entre aspersores e alturas do tubo de elevação.

Espaçamentos entre aspersores	Alturas do tubo de elevação	Equações de regressão múltipla $PE = b_1 VV + b_2 T + b_3 UR + b_0$	R^2
m	m		
12	0,5	$PE = 2,45^* VV + 1,09T + 0,09UR - 38,27$	0,82 ^{**}
	1,0	$PE = 2,59^{**} VV - 0,08T - 0,12UR + 9,86$	0,80 ^{**}
	2,0	$PE = 2,25^{**} VV + 1,60^{**} T + 0,04UR - 48,06$	0,91 ^{**}
18	0,5	$PE = 2,17^{**} VV + 1,24^* T - 0,03UR - 34,19$	0,91 ^{**}
	1,0	$PE = 2,46^{**} VV + 0,32T - 0,10UR - 1,86$	0,72 ^{**}
	2,0	$PE = 2,47^{**} VV + 0,62T - 0,07UR - 12,09$	0,81 ^{**}

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO 18 - Contribuição de cada fator climático na variação das perdas por evaporação, para os diferentes espaçamentos entre aspersores e alturas do tubo de elevação.

Espaçamento entre aspersores	Altura do tubo de elevação	Contribuição de cada fator climático		
		Velocidade do vento	Temperatura do ar	Umidade rela tiva do ar
m	m		%	
12	0,5	35,1	33,3	13,6
	1,0	57,0	2,3	20,7
	2,0	46,5	37,6	6,9
18	0,5	56,6	30,8	3,6
	1,0	47,0	10,8	14,2
	2,0	54,0	14,5	12,5

va do ar foi o fator de menor importância (contribuições de 4 a 21%).

As equações de regressão múltipla apresentadas no Quadro 17 estimam com adequada precisão as perdas por evaporação a partir de dados de velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar. Isso pode ser evidenciado pelos altos valores dos coeficientes de determinação e pela análise de variância - conduzida para cada equação de regressão, cujos valores de F foram altamente significativos, conforme mostram os Quadros XIII e XIV do Apêndice.

4. Considerações gerais sobre o uso do sistema de aspersão avaliado

Como indicado anteriormente, os espaçamentos de 12 x 12 e 12 x 18m produziram as melhores uniformidades de distribuição de água e, mesmo com precipitações elevadas, eles poderiam ser utilizados nas condições de solo da área do estudo. No entanto, como as uniformidades fornecidas pelo espaçamento de 18 x 18 m podem ser consideradas aceitáveis, seria conveniente, do ponto de vista econômico, o uso desse espaçamento, principalmente com o tubo de elevação a 2m de altura.

Para atenuar os efeitos das condições climáticas, especialmente do vento, seria oportuno que a irrigação fosse feita no período da manhã, tendo em vista que há uma tendência das velocidades do vento observadas nesse período serem mais baixas que as do período da tarde. Isto pode ser comprovado através do Quadro II do Apêndice, onde observa-se que as velocidades dos ventos da manhã foram geralmente inferiores a 4,9 m/s, atingindo valores mínimos de até 2,3 m/s, enquanto que na tarde elas foram geralmente superiores a 4,0 m/s, atingindo valores máximos de até 6,3 m/s.

CAPÍTULO V

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A análise dos resultados permite concluir e recomendar o seguinte:

1. Ao nível de 1% de probabilidade, não existe influência da altura do tubo de elevação sobre a intensidade de precipitação média que atinge a superfície do solo.
2. As melhores uniformidades de distribuição de água foram obtidas com o tubo de elevação a 2m de altura.
3. Os espaçamentos menores (12 x 12 e 12 x 18m) produziram as mais elevadas uniformidades. No entanto, deram origem a altas precipitações e riscos de escoamento superficial.
4. O espaçamento de 18 x 18m forneceu uniformidades aceitáveis, principalmente com a altura do tubo de elevação de 2m, e precipitações médias em torno de 10 mm/h, que são consideradas ideais para a irrigação por aspersão, de acordo com BERNARDO (1982).
5. Em geral, a uniformidade de distribuição de água diminuiu com o aumento da velocidade do vento, e o efeito desse fator climático foi mais significativo com o tubo de elevação a 2m de altura.
6. Os fatores climáticos (velocidade do vento, temperatura e umidade relativa do ar) tiveram maior influência nas perdas de água por evaporação do que a altura do tubo de elevação ou o espaçamento entre aspersores. A velocidade do vento

foi o fator climático que mais influenciou as perdas de água por evaporação, sendo que a temperatura do ar foi o segundo fator mais importante.

7. Para as velocidades do vento testadas (2,34 a 6,28m/s), as perdas de água por evaporação variaram de 6,30 a 19,75%.
8. Para as condições de clima de Mossoró e para as especificações do sistema de aspersão avaliado, aconselha-se o uso do espaçamento dos aspersores de 18 x 18m e, desde que a cultura irrigada permita, o tubo de elevação a uma altura de 2m, com as irrigações sendo conduzidas preferencialmente no período da manhã.
9. Com o objetivo de obter-se mais informações sobre o desempenho de sistemas de irrigação por aspersão no Nordeste brasileiro, recomenda-se:
 - conduzir estudos similares para diferentes combinações entre tamanho do bocal e pressão de serviço;
 - verificar a influência da uniformidade de distribuição de água na produção das culturas.

LITERATURA CITADA

ALVES, J. S. Caracterização físico-hídrica dos solos da Fazenda Rafael Fernandes. Coleção Mossoroense, Mossoró, 1983. (No prelo).

AMORIM, A. P. & CARMO FILHO, F. do. Dados meteorológicos de Mossoró. Coleção Mossoroense, Mossoró, v. 172, 1981.

ARRUDA, N. T. de. Análise de uniformidade da distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão em linha. Viçosa, UFV, 1981. 80p. Tese Mestrado.

ASAE. Procedure for sprinkler distribution testing for research purposes. Agricultural Engineers, Yearbook, 497-499, 1973.

BERNARDO, S. Irrigação por aspersão. In: SEMINÁRIO REGIONAL DE MÉTODOS DE IRRIGAÇÃO PARA O NORDESTE, 1, Fortaleza, 1978. 24 p.

_____. Manual de irrigação. Viçosa, Imprensa Universitária da UFV, 1982. 463p.

BRANSCHIED, V. O. & HART, W. E. Predicting field distribution of sprinkler systems. Trans. of the ASAE, 11 (6): 801-803, 808, 1968.

CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. Berkeley, California, University of California, 1942. 124p. (Bull. nº 670).

CLARK, R. N & FINLEY, W.W. Sprinkler evaporation losses in the Southern Plains. Palmer House, Chicago, Illinois, American

- Society of Agricultural Engineers, 1975. 11p. (Paper nº 75-2573).
- DAKER, A. Irrigação e drenagem. In: A água na agricultura. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, v. 3, 1970. 453 p.
- DYLLA, A.S. & SHULL, H. Sprinkler irrigation percolation losses. Palmer House, Chicago, Illinois, American Society of Agricultural Engineers, 1975. 8p. (Paper nº 75-2572).
- ELJANANI, S. El riego por aspersión. In: CURSO SOBRE UTILIZACIÓN DEL AGUA PARA LA AGRICULTURA EN ZONAS ÁRIDAS. Herzelia, Israel, 1963. 81p.
- FERREIRA, E. Relações entre métodos para determinação da uniformidade de distribuição em irrigação por aspersão. Porto Alegre, UFRGS, 1976. 103p. Tese Mestrado.
- FROST, K.R. & SCHWALEN, H.C. Sprinkler evaporation losses. Agricultural Engineering, 36 (8): 526-528, 1955.
- FRY, A.W. & GRAY, A.S. Sprinkler irrigation handbook. 8nd ed. Glendorra, California, Rain Bird Sprinkler MFG Corporation, 1969. 36p.
- GÓMEZ, J.C.F. Evaluación de la distribución de agua aplicada por medio de aspersores. Lima, Peru, Universidad Nacional Agraria La Molina, 1976. 60p. Tesis Ingeniero Agrícola.
- GOMIDE, R.L. Determinação e análise da uniformidade de distribuição da água no sistema de irrigação por aspersão. Viçosa, UFV, 1978. 87p. Tese Mestrado.
- HENDERSON, D.W. Application of irrigation water. Davis, Cali-

fornia, University of California, 1965. Mimeografado.

- HERMSMEIER, L.F. Evaporation during sprinkler application in a desert climate. Saint Joseph, Michigan, American Society of Agricultural Engineers, 1973. (Paper nº 73-216).
- KARMEI, D. Estimating sprinkler distribution patterns using linear regression. Trans. of the ASAE, 21 (4) : 682 - 686 , 1978.
- KRAUS, J.H. Application efficiency of sprinkler irrigation and its effects on microclimate. Trans. of the ASAE, 9 (5):642-645, 1966.
- LÓPEZ, J. Riego por aspersión. Petrolina, GEIDA/SUDENE - IICA/CIDIAT, 1972. 33p.
- MERRIAM, J. L. & KELLER, J. Farm irrigation system evaluation: a guide for management. Logan, Utah, Utah State University, 1978. 271p.
- MOLENAAR, A; UNBEWUST, J.S.; HOISVEEN, M.W. & JENSEN, M.C. Factors affecting distribution of water from rotating sprinklers. Washington Agricultural Experiment Stations, 1954 , 18p. (Circ. nº 248).
- OLITTA, A.F.L. Os métodos de irrigação. São Paulo, Livraria Nobel, 1977. 267p.
- PAIR, C.H. Water distribution under sprinkler irrigation. Trans. of the ASAE, 11 (5): 648-651, 1968.
- _____. HINZ, W.W.; REID, C. & FROST, K.R. Sprinkler irrigation. 3rd ed. Washington, D.C., Sprinkler Irrigation Association, 1969. 444p.

- PERA, P.C. Seminário de irrigação. Porto Alegre, Centro de Hidrologia Aplicada da UFRGS, 1971.
- PILLSBURY, A.F. Sprinkler irrigation. Roma, FAO, 1968. 179p.
- RIBEIRO, J.M. Avaliação do sistema de irrigação por aspersão através do modelo linear. Fortaleza, UFC, 1982. 89p. Tese de Mestrado.
- SAINT-FOULC, J. d'AT de. El riego por aspersión. 2nd ed. Barcelona, Editores Técnicos Asociados, 1968. 252p.
- SCOTT, V.H. & CORREY, J.A. Sprinkler and lateral spacing. California Agriculture, 11 (4): 30-31, 1957.
- SEGINER, I. Wind variation and sprinkler water distribution. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 95 (IR2): 261-275, 1969.
- STERNBERG, Y. M. Analysis of sprinkler irrigation losses. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 93 (IR4): 111-125, 1967.
- WIERSMA, J.L. Effect of wind variation on water distribution from rotating sprinklers. Brookings, South Dakota, South Dakota Agricultural Experiment Station, 1955. 18p. (Bull. nº 16).
- WILCOX, J.C. & McDOUGALD, J.M. Water distribution patterns from rotary sprinklers. Canadian Journal of Agricultural Science, 35 (3): 217-228, 1955.
- WILLARDSON, L.S.; ERTSGAARD, B.L.; EHLIG, C.F. & MACKENZIE, A. J. High rate sprinkling of a low intake soil. Trans. of the ASAE, 17 (2): 280-281, 1974.

WISER, E.H.; SCHILFGAARDE, J.V. & WILSON, T.V. Evapotranspiration concepts for evaluating sprinkler irrigation losses. Trans. of the ASAE, 4 : 128-134, 1961.

YAMANE, T. Statistics, an introductory analysis. 2nd ed. New York, Harper & Row, Publishers, 1967. 919p.

ZIMMERMAM, J.D. El riego. México, Compañía Editorial Continental, 1970. 604p.

APÉNDICE

QUADRO I - Dados médios mensais de temperatura (média, máxima e mínima), umidade relativa do ar, velocidade e direção predominante do vento, do município de Mossoró-RN, referentes ao período 1970-1982.

Meses	Temperatura do ar			Umidade relativa do ar	Vento	
	Média	Máxima	Mínima		Velocidade	Dir. Predominante
	°C			%	m/s	
Janeiro	28,1	33,8	23,5	67	5,0	NE
Fevereiro	27,7	32,9	23,3	71	4,1	NE
Março	27,1	32,4	23,0	78	3,3	SE
Abril	27,1	32,3	22,9	78	2,9	NE
Maiο	26,9	32,2	22,5	75	2,9	SE
Junho	26,6	32,1	21,7	72	2,9	SE
Julho	26,5	32,4	21,4	68	3,1	SE
Agosto	27,0	33,7	21,2	61	4,2	SE
Setembro	27,7	34,4	21,9	60	5,0	NE
Outubro	27,9	34,5	22,7	61	5,5	NE
Novembro	28,1	34,4	23,0	63	5,5	NE
Dezembro	28,3	34,4	23,2	64	5,1	NE
Média	27,4	33,3	22,5	68	4,1	

Fonte: Estação Meteorológica "Jerônimo Rosado" da Escola Superior de Agricultura de Mossoró.

QUADRO II - Resultados dos parâmetros dos aspersores e fatores climáticos registrados em cada teste.

Nº do teste	Hora de início do teste	Altura do tubo de elev. m	Pressão de serviço -kgf/cm ² -	Vazão dos aspersores			Velocidade de rotação dos aspersores			Velocidade do vento m/s	Direção do vento ¹ °	Temp. do ar °C	Umidade relativa do ar %	Deficit de pressão de vapor mmHg
				A ₂	A ₃	A ₄	A ₂	A ₃	A ₄					
01	14:39	2,0	3,3	3,85	3,96	3,82	1,54	1,61	1,33	6,28	86	29,6	62	11,82
02	09:21	2,0	3,3	3,83	3,93	3,80	1,42	1,42	1,24	3,74	26	31,5	39	21,15
03	14:31	2,0	3,4	3,86	3,95	3,88	1,35	1,32	1,22	4,83	88	31,4	37	21,72
04	11:05	2,0	3,2	3,78	3,91	3,74	1,33	1,32	1,29	5,78	73	31,3	44	19,20
05	15:13	2,0	3,2	3,76	3,86	3,81	1,25	1,27	1,09	5,22	78	29,0	54	13,82
06	08:56	2,0	3,2	3,77	3,91	3,79	1,75	1,28	1,27	4,06	35	30,5	50	16,36
07	15:11	2,0	3,5	3,94	4,07	3,92	1,28	1,36	1,10	5,36	81	29,8	53	14,79
08	08:51	2,0	3,4	3,93	3,99	3,87	1,68	1,38	1,09	3,86	43	30,0	55	14,32
09	14:32	2,0	3,2	3,75	3,85	3,72	1,67	1,38	1,18	5,72	70	31,6	43	19,87
10	09:35	2,0	3,4	3,88	4,15	3,86	1,32	1,32	1,03	4,17	43	32,2	46	19,48
11	16:02	2,0	3,2	3,80	3,93	3,78	1,59	1,27	1,15	3,97	78	28,4	64	10,55
12	09:12	2,0	3,2	3,72	3,91	3,70	1,56	1,53	1,35	3,47	23	29,4	56	13,53
13	14:31	2,0	3,4	3,92	4,06	3,82	1,62	1,46	1,23	6,06	75	30,1	54	14,72
14	09:46	2,0	3,5	3,97	4,06	3,92	1,45	1,29	1,13	4,69	33	31,2	40	20,45
15	15:07	2,0	3,5	3,99	4,17	3,93	1,39	1,26	1,03	5,86	80	30,1	55	14,40
16	08:31	2,0	3,3	3,83	3,99	3,76	1,66	1,24	0,99	4,33	40	30,2	51	15,77
17	15:35	2,0	3,2	3,78	3,88	3,73	1,37	1,43	1,57	4,56	82	30,1	51	15,68
18	14:49	2,0	3,5	3,94	4,01	3,97	1,32	1,38	1,59	5,92	67	31,5	47	18,38

¹/ Ângulo entre a direção do vento e a linha lateral.

continuação

Nº do teste	Hora de início do teste	Altura do tubo de elev. m	Pressão de serviço -kgf/cm ² -	Vazão dos aspersores			Velocidade de rotação dos aspersores			Velocidade do vento m/s	Direção do vento ¹ °	Temp. do ar °C	Umidade relativa do ar %	Deficit de pressão de vapor mmHg
				A ₂	A ₃	A ₄	A ₂	A ₃	A ₄					
19	09:43	2,0	3,2	3,79	3,93	3,80	1,35	1,66	1,54	3,81	42	31,7	47	18,58
20	14:09	2,0	3,2	3,80	3,87	3,79	1,50	1,52	1,48	4,78	77	31,0	52	16,18
21	09:12	2,0	3,3	3,86	3,90	3,83	1,46	1,38	1,29	3,39	29	29,7	55	14,08
22	15:37	2,0	3,4	3,86	4,01	3,88	1,49	1,53	1,49	4,31	75	29,8	53	14,79
23	08:47	2,0	3,3	3,83	4,00	3,82	1,46	1,53	1,38	4,86	33	30,3	46	17,49
24	14:47	2,0	3,2	3,80	3,90	3,78	1,52	1,55	1,56	5,83	78	30,9	54	15,41
25	10:25	2,0	3,5	3,97	4,06	3,95	1,41	1,45	1,36	4,17	36	32,0	39	21,75
26	10:18	2,0	3,4	3,88	4,06	3,88	1,47	1,55	1,56	3,19	39	31,8	42	20,45
27	09:32	2,0	3,4	3,90	4,05	3,86	1,43	1,48	1,34	3,75	27	31,6	45	19,17
28	14:36	2,0	3,4	3,88	4,02	3,89	1,57	1,48	1,52	5,53	74	31,0	55	15,17
29	08:30	2,0	3,4	3,91	4,02	3,87	1,48	1,31	1,16	4,69	21	30,5	52	15,72
30	14:03	2,0	3,5	3,99	4,11	3,96	1,49	1,30	1,22	5,19	85	32,4	38	22,62
31	10:39	2,0	3,5	3,93	4,05	3,92	1,41	1,45	1,32	3,50	34	32,5	33	24,58
32	15:48	2,0	3,5	3,98	4,10	3,93	1,46	1,42	1,30	4,08	88	29,2	58	12,76
33	09:52	1,0	3,4	3,88	4,04	3,87	1,51	1,30	1,25	3,38	14	32,2	44	20,20
34	09:40	1,0	3,5	3,92	4,13	3,93	1,01	1,29	1,00	3,43	02	29,2	60	12,16
35	14:49	1,0	3,5	3,95	4,11	3,96	0,97	1,26	1,05	4,14	64	28,6	70	8,81
36	09:24	1,0	3,3	3,82	3,99	3,82	0,82	1,10	1,13	3,52	09	30,1	57	13,76

¹/ Ângulo entre a direção do vento e a linha lateral.

continuação

N ^o do teste	Hora de início do teste	Altura do tubo de elev. m	Pressão de serviço -kgf/cm ² -	Vazão dos aspersores			Velocidade de rotação dos aspersores			Velocidade do vento m/s	Direção do vento ¹ °	Temp. do ar °C	Umidade relativa do ar %	Deficit de pressão de vapor mmHg
				A ₂	A ₃	A ₄	A ₂	A ₃	A ₄					
37	14:31	1,0	3,4	3,88	4,05	3,88	1,00	1,28	1,27	5,09	88	31,2	48	17,72
38	08:48	1,0	3,5	3,97	4,10	3,96	1,13	1,17	1,22	3,74	24	29,0	57	12,92
39	09:42	1,0	3,5	3,95	4,12	3,97	1,48	1,08	1,03	4,50	35	32,0	48	18,54
40	15:15	1,0	3,5	3,97	4,15	3,97	1,39	1,05	1,13	6,26	66	30,8	57	14,32
41	14:43	1,0	3,5	3,97	4,14	3,99	1,25	0,89	1,27	5,33	93	33,4	38	23,92
42	14:18	1,0	3,5	3,98	4,15	3,97	1,05	1,05	1,28	5,71	82	32,9	44	21,01
43	09:00	1,0	3,3	3,87	3,99	3,84	1,14	1,29	1,16	4,17	21	30,8	56	14,66
44	14:24	1,0	3,5	3,97	4,15	3,95	1,27	1,17	1,33	5,83	88	32,5	53	17,24
45	09:22	1,0	3,4	3,92	4,09	3,88	1,33	1,31	1,47	4,11	34	32,5	46	19,81
46	14:18	1,0	3,3	3,87	4,00	3,82	1,20	1,09	1,50	5,83	86	33,0	43	21,51
47	09:08	1,0	3,5	3,98	4,15	3,94	1,29	0,92	1,41	3,50	15	30,3	50	16,19
48	14:20	1,0	3,5	3,96	4,13	3,95	1,19	1,14	1,42	3,90	83	34,4	39	24,89
49	09:54	1,0	3,4	3,92	3,90	3,89	1,11	0,71	1,34	3,40	41	30,1	39	19,53
50	09:59	1,0	3,5	3,97	4,01	3,98	1,07	0,89	1,42	4,05	40	32,0	47	18,90
51	15:24	1,0	3,5	3,95	3,98	3,97	1,11	0,72	1,48	5,45	77	29,2	59	12,46
52	09:38	1,0	3,2	3,76	3,81	3,77	1,11	0,93	1,45	4,85	43	32,0	43	20,33
53	15:33	1,0	3,3	3,83	3,88	3,85	1,11	1,26	1,58	5,40	76	28,9	59	12,25
54	08:46	1,0	3,4	3,86	3,90	3,89	1,11	1,15	1,69	4,45	52	29,8	52	15,10

/ Ângulo entre a direção do vento e a linha lateral.

continuação

N ^o do teste	Hora de início do teste	Altura do tubo de elev. m	Pressão de serviço -kgf/cm ² -	Vazão dos aspersores			Velocidade de rotação dos aspersores			Velocidade do vento m/s	Direção do vento ¹ °	Temp. do ar °C	Umidade relativa do ar %	Deficit de pressão de vapor mmHg
				A ₂	A ₃	A ₄	A ₂	A ₃	A ₄					
55	14:12	1,0	3,3	3,81	3,86	3,83	1,16	1,28	1,66	4,90	85	30,9	47	17,76
56	09:21	1,0	3,5	3,96	3,97	3,99	1,01	1,49	1,43	4,60	24	33,2	41	22,51
57	14:36	1,0	3,3	3,87	3,84	3,84	1,01	1,70	1,56	5,92	79	32,2	53	16,95
58	08:47	1,0	3,5	3,97	3,95	3,96	1,02	1,40	1,53	3,68	37	32,0	45	19,61
59	14:38	1,0	3,3	3,86	3,84	3,85	0,97	1,61	1,45	5,86	71	31,6	54	16,04
60	09:08	1,0	3,4	3,91	3,89	3,92	1,04	1,68	1,40	4,05	10	32,2	45	19,84
61	08:33	1,0	3,4	3,93	3,86	3,87	0,99	1,67	1,47	4,02	08	30,5	47	17,36
62	14:07	1,0	3,4	3,90	3,86	3,90	0,95	1,58	1,54	5,61	80	31,0	54	15,50
63	08:40	1,0	3,4	3,94	3,87	3,91	0,96	1,51	1,51	3,90	05	30,8	47	17,65
64	14:11	1,0	3,4	3,91	3,87	3,90	0,96	1,72	1,62	5,88	79	31,2	53	16,02
65	09:45	0,5	3,3	3,86	3,86	3,82	0,95	1,49	1,56	3,12	23	31,3	46	18,51
66	14:56	0,5	3,3	3,87	3,83	3,82	0,95	1,53	1,56	4,27	67	30,0	59	13,05
67	08:35	0,5	3,4	3,87	3,87	3,91	0,92	1,59	1,58	4,19	03	30,4	55	14,65
68	09:43	0,5	3,3	3,83	3,82	3,84	0,95	1,82	1,61	4,47	01	33,2	39	23,28
69	09:46	0,5	3,4	3,91	3,88	3,89	0,91	1,57	1,59	4,10	04	33,0	43	21,51
70	14:23	0,5	3,5	3,99	3,97	3,98	0,91	1,61	1,55	5,79	72	32,2	53	16,95
71	15:13	0,5	3,3	3,86	3,83	3,88	0,90	1,79	1,50	4,95	72	30,9	55	15,08
72	08:50	0,5	3,5	3,95	3,91	3,94	0,89	2,04	1,48	3,62	13	29,4	61	11,99

/ Ângulo entre a direção do vento e a linha lateral.

continuação

Q do teste	Hora de início do teste	Altura do tubo de elev. m	Pressão de serviço -kgf/cm ² -	Vazão dos aspersores			Velocidade de rotação dos aspersores			Velocidade do vento m/s	Direção do vento °	Temp. do ar °C	Umidade relativa do ar %	Deficit de pressão de vapor mmHg
				A ₂	A ₃	A ₄	A ₂	A ₃	A ₄					
73	13:02	0,5	3,3	3,83	3,83	3,85	0,88	1,96	1,55	5,11	54	33,3	50	19,19
74	14:01	0,5	3,2	3,78	3,78	3,81	0,90	2,00	1,66	4,53	73	34,2	42	23,40
75	08:42	0,5	3,5	3,97	3,92	3,97	0,87	2,09	1,59	4,19	20	32,2	43	20,56
76	15:34	0,5	3,4	3,88	3,85	3,90	0,87	1,91	1,63	4,84	58	31,0	56	14,83
77	08:54	0,5	3,4	3,87	3,91	3,93	0,86	1,90	1,68	4,06	34	29,8	56	13,84
78	14:10	0,5	3,2	3,79	3,76	3,75	0,87	1,93	1,61	4,30	57	30,9	58	14,07
79	09:23	0,5	3,2	3,78	3,77	3,78	1,10	1,76	1,46	3,12	24	31,7	55	15,78
80	14:45	0,5	3,2	3,79	3,79	3,77	1,12	1,82	1,55	4,71	47	31,6	60	13,94
81	08:42	0,5	3,2	3,81	3,77	3,79	1,01	1,64	1,56	2,34	23	30,5	61	12,77
82	09:01	0,5	3,3	3,83	3,83	3,86	0,88	1,75	1,60	2,74	24	31,0	58	14,15
83	14:15	0,5	3,3	3,83	3,81	3,85	0,86	1,45	1,66	4,30	51	30,7	56	14,57
84	09:19	0,5	3,2	3,77	3,75	3,74	0,87	1,39	1,40	3,18	16	32,1	50	17,94
85	14:06	0,5	3,3	3,84	3,81	3,80	0,90	1,57	1,48	4,95	59	32,1	53	16,86
86	14:16	0,5	3,3	3,84	3,87	3,85	0,82	1,73	1,36	2,95	63	30,6	56	14,49
87	14:11	0,5	3,3	3,83	3,82	3,83	0,81	1,63	1,45	4,00	49	32,4	48	18,97
88	08:44	0,5	3,3	3,82	3,81	3,82	0,78	1,61	1,37	2,95	08	30,4	58	13,68

/ Ângulo entre a direção do vento e a linha lateral.

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
 Pró-Reitoria Para Assuntos do Interior
 Condicionador Selenial de Pós-Graduação
 Rua Aprígio Veloso, 892 - Tel. (021) 324-7222-R 355
 55.100 - Campina Grande - Paraíba

QUADRO III - Resumo da comparação das médias das precipitações médias das alturas do tubo de elevação de 0,5 ; 1,0 e 2,0 m, para os espaçamentos de 12 x 12 e 18 x 18 m.

Alturas comparadas	Diferença das médias	Desvio padrão	t
<u>12 x 12 m¹</u>			
0,5 e 1,0m	0,21	0,39	0,54
0,5 e 2,0m	0,05	0,33	0,15
1,0 e 2,0m	0,26	0,35	0,74
<u>18 x 18 m²</u>			
0,5 e 1,0m ³	0,07	0,23	0,30
0,5 e 2,0m ³	0,01	0,19	0,05
1,0 e 2,0m	0,10	0,13	0,77

1/ Os valores de t para os espaçamentos de 12 x 18 e 12 x 24 m são iguais aos do espaçamento de 12 x 12 m.

2/ Os valores de t para o espaçamento de 18 x 24m são iguais aos do espaçamento de 18 x 18 m.

3/ Nessa comparação, foram utilizados somente os testes com velocidades do vento entre 4 e 4,95 m/s.

QUADRO IV - Resumo da comparação das médias dos coeficientes de uniformidade das alturas do tubo de elevação de 0,5; 1,0 e 2,0m, para os diferentes espaçamentos testados.

Alturas comparadas	Diferença das médias	Desvio padrão	t
<u>12 x 12 m</u>			
0,5 e 1,0m	4,02	0,87	4,62**
0,5 e 2,0m	6,74	0,76	8,87**
1,0 e 2,0m	2,72	0,73	3,73**
<u>12 x 18 m</u>			
0,5 e 1,0m	1,61	1,96	0,82
0,5 e 2,0m	7,54	1,56	4,83**
1,0 e 2,0m	5,93	1,73	3,43**
<u>12 x 24 m</u>			
0,5 e 1,0m	0,10	1,48	0,07
0,5 e 2,0m	6,06	1,44	4,21**
1,0 e 2,0m	5,96	1,42	4,20**
<u>18 x 18 m</u>			
0,5 e 1,0m ¹	3,91	2,16	1,81
0,5 e 2,0m ¹	9,84	2,01	4,90**
1,0 e 2,0m	6,72	2,37	2,84**
<u>18 x 24 m</u>			
0,5 e 1,0m ¹	0,22	1,75	0,13
0,5 e 2,0m ¹	5,20	2,21	2,35*
1,0 e 2,0m	7,31	2,06	3,55**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

1/ Nessa comparação, foram utilizados somente os testes com velocidades do vento entre 4 e 4,95 m/s.

QUADRO V - Resumo da comparação das médias dos coeficientes de uniformidade dos espaçamentos de 12 x 12, 12 x 18 e 12 x 24 m, para as diferentes alturas do tubo de elevação testadas.

Espaçamentos comparados	Diferença das médias	Desvio padrão	t
<u>0,5 m</u>			
12 x 12 e 12 x 18 m	5,95	1,41	4,22**
12 x 18 e 12 x 24 m	26,17	1,64	15,96**
<u>1,0 m</u>			
12 x 12 e 12 x 18 m	8,36	1,49	5,61**
12 x 18 e 12 x 24 m	27,68	1,76	15,73**
<u>2,0 m</u>			
12 x 12 e 12 x 18 m	5,15	1,03	5,00**
12 x 18 e 12 x 24 m	27,65	1,38	20,04**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO VI - Resumo da comparação das médias dos coeficientes de uniformidade dos espaçamentos de 18 x 18 e 18 x 24m, para as diferentes alturas do tubo de elevação testadas.

Espaçamentos comparados	Diferença das médias	Desvio padrão	t
<u>0,5 m</u> 18 x 18 e 18 x 24 m	20,67	2,53	8,17**
<u>1,0 m</u> 18 x 18 e 18 x 24 m	24,77	2,55	9,71**
<u>2,0 m</u> 18 x 18 e 18 x 24 m	24,18	1,83	13,21**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO VII - Resumo da comparação das médias das perdas por evaporação das alturas do tubo de elevação de 0,5; 1,0 e 2,0 m, para os diferentes espaçamentos entre aspersores testados.

Alturas comparadas	Diferença das médias	Desvio padrão	t
<u>12 m</u>			
0,5 e 1,0 m	1,16	1,18	0,98
0,5 e 2,0 m	1,81	1,07	1,69
1,0 e 2,0 m	0,65	1,07	0,61
<u>18 m</u>			
0,5 e 1,0 m ¹	2,68	1,46	1,84
0,5 e 2,0 m ¹	1,98	1,34	1,48
1,0 e 2,0 m	0,14	0,95	0,15

¹/ Nessa comparação, foram utilizados somente os testes com velocidade do vento entre 4 e 4,95 m/s.

QUADRO VIII - Resumo da comparação das médias das perdas por evaporação dos espaçamentos entre aspersores de 12 e 18 m, para as diferentes alturas do tubo de elevação testadas.

Espaçamentos comparados	Diferença das médias	Desvio padrão	t
<u>0,5 m</u> 12 e 18 m ¹	0,89	1,31	0,68
<u>1,0 m</u> 12 e 18 m	2,13	1,03	2,07*
<u>2,0 m</u> 12 e 18 m	1,34	0,99	1,35

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

1/ Nessa comparação, foram utilizados somente os testes com velocidades do vento entre 4 e 4,95 m/s.

QUADRO IX - Resumo dos testes de significância dos coeficientes de regressão das equações das perdas por evaporação, para o espaçamento entre aspersores de 12 m e alturas do tubo de elevação de 0,5; 1,0 e 2,0 m.

Variável independente	b	s (b)	t
<u>0,5 m</u>			
VV	2,45	0,9412	2,60*
T	1,09	0,8156	1,34
UR	0,09	0,1565	0,58
<u>1,0 m</u>			
VV	2,59	0,5391	4,80**
T	- 0,08	0,8119	- 0,10
UR	- 0,12	0,1271	- 0,94
<u>2,0 m</u>			
VV	2,25	0,2950	7,63**
T	1,60	0,4812	3,33**
UR	0,04	0,0685	0,58

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO X - Resumo dos testes de significância dos coeficientes de regressão das equações das perdas por evaporação, para o espaçamento entre aspersores de 18 m e alturas do tubo de elevação de 0,5; 1,0 e 2,0 m.

Variável independente	b	s (b)	t
<u>0,5 m</u>			
VV	2,17	0,3363	6,45**
T	1,24	0,4609	2,69*
UR	- 0,03	0,0953	- 0,31
<u>1,0 m</u>			
VV	2,46	0,5344	4,60**
T	0,32	0,3717	0,86
UR	- 0,10	0,0952	- 1,05
<u>2,0 m</u>			
VV	2,47	0,3708	6,66**
T	0,62	0,6910	0,90
UR	- 0,07	0,0923	- 0,76

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade;

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade.

QUADRO XI - Resumo do cálculo dos coeficientes de regressão padrão das variáveis independentes das equações das perdas por evaporação, para o espaçamento entre aspersores de 12 m e alturas do tubo de elevação de 0,5; 1,0 e 2,0 m.

Variável independente	b	$\frac{s_x}{s_y}$	b'
<u>0,5 m</u>			
VV	2,45	0,2527	0,6191
T	1,09	0,5379	0,5863
UR	0,09	2,6570	0,2391
<u>1,0 m</u>			
VV	2,59	0,3268	0,8464
T	- 0,08	0,4281	- 0,0342
UR	- 0,12	2,5654	- 0,3078
<u>2,0 m</u>			
VV	2,25	0,3438	0,7736
T	1,60	0,3906	0,6250
UR	0,04	2,8516	0,1141

QUADRO XII - Resumo do cálculo dos coeficientes de regressão padrão das variáveis independentes das equações das perdas por evaporação, para o espaçamento entre as persores de 18 m e alturas do tubo de elevação de 0,5; 1,0 e 2,0 m.

Variável independente	b	$\frac{s_x}{s_y}$	b'
<u>0,5 m</u>			
VV	2,17	0,3373	0,7319
T	1,24	0,3214	0,3985
UR	- 0,03	1,5238	- 0,0457
<u>1,0 m</u>			
VV	2,46	0,3385	0,8327
T	0,32	0,5992	0,1917
UR	- 0,10	2,5136	- 0,2514
<u>2,0 m</u>			
VV	2,47	0,3369	0,8321
T	0,62	0,3617	0,2243
UR	- 0,07	2,7447	- 0,1921

QUADRO XIII - Resumo das análises de variância das regressões das perdas por evaporação, para o espaçamento entre aspersores de 12 m e alturas do tubo de elevação de 0,5; 1,0 e 2,0 m.

Causas da variação	GL	SQ	QM	F
<u>0,5 m</u>				
Devido à regressão	3	69,152	23,051	12,10**
Indep. de regressão	8	15,238	1,905	
<u>1,0 m</u>				
Devido à regressão	3	105,171	35,057	15,07**
Indep. da regressão	11	25,589	2,326	
<u>2,0 m</u>				
Devido à regressão	3	83,904	27,968	38,26**
Indep. da regressão	11	8,041	0,731	

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.

QUADRO XIV - Resumo das análises de variância das regressões das perdas por evaporação, para o espaçamento entre aspersores de 18m e alturas do tubo de elevação de 0,5; 1,0 e 2,0 m.

Causas de variação	GL	SQ	QM	F
<u>0,5 m</u>				
Devido à regressão	3	63,556	21,185	26,58**
Indep. da regressão	8	6,376	0,797	
<u>1,0 m</u>				
Devido à regressão	3	75,383	25,128	10,67**
Indep. da regressão	13	30,607	2,354	
<u>2,0 m</u>				
Devido à regressão	3	102,648	34,216	17,95**
Indep. da regressão	13	24,781	1,906	

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade.