

DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE AVALIAÇÃO DE
DOIS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO


LUIS CARLOS NOGUEIRA

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À COORDENAÇÃO DO CURSO
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO
IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE
UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ


FORTALEZA - 1987


Esta Dissertação foi submetida como parte dos requisitos necessários à obtenção do Grau de Mestre em Agronomia, Área de Concentração em Irrigação e Drenagem, outorgado pela Universidade Federal do Ceará, e encontra-se a disposição dos interessados na Biblioteca Central da referida Universidade.


A citação de qualquer trecho desta Dissertação é permitida, desde que seja feita de conformidade com as normas da ética científica.


Luis Carlos Nogueira

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 01/04/87


Francisco de Souza, Ph.D.
Orientador da Dissertação


Moisés Custódio Saraiva Leão, Ph.D.
Conselheiro


Paulo Teodoro de Castro, M.S.
Conselheiro

DEDICO

Aos meus pais, LUIZ e ANA, exemplos de fê,
retidão, bondade, tenacidade e amor,
que possibilitaram esta minha caminha-
da.

Aos meus irmãos, IRINEU, IRANY e IRACY,
IRAÍDI, TERESA, ANGELA, ROSÂNGELA, ANA
MARIA, DIANE e LEONARDO, partes do meu
ser, que souberam me dar apoio, incen-
tivo, compreensão e carinho.

Minha eterna gratidão!

"Se pudéssemos saber primeiro onde estamos e para onde tendemos, poderíamos julgar melhor o que fazer e como fazê-lo".

(Abraham Lincoln)

AGRADECIMENTOS

À Comissão de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelas bolsas de estudo concedidas.

Ao convênio "Manejo D'Água em Áreas Irrigadas - Determinação da Eficiência e Uniformidade de Distribuição da Água na Irrigação", PDCT/CE-03, pela colaboração financeira.

Ao Professor FRANCISCO DE SOUZA, pela amizade, dedicação e orientação prestada na evolução deste trabalho.

Aos Professores MOISÉS CUSTÓDIO SARAIVA LEÃO e PAULO TEODORO DE CASTRO, pela colaboração e sugestões apresentadas.

Aos Engenheiros Agrônomos SÉRGIO LUIS AMIM e FRANCISCO DAS CHAGAS MELO FILHO, e ao Engenheiro Agrícola SÉRGIO LUIZ AGUILAR LEVIEN pelo auxílio na condução dos trabalhos de campo.

A todos os Professores do Curso de Mestrado e do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos valiosos ensinamentos transmitidos.

Aos colegas de curso, pela amizade, pelo companheirismo e pelo convívio alegre e sincero.

SUMÁRIO

	Página
<u>LISTA DE TABELAS</u>	viii
<u>LISTA DE TABELAS EM ANEXOS</u>	x
<u>LISTA DE FIGURAS</u>	xii
<u>LISTA DE FIGURAS EM ANEXOS</u>	xiv
<u>RESUMO</u>	xvi
<u>ABSTRACT</u>	xviii
1 - <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 - <u>REVISÃO DE LITERATURA</u>	3
2.1 - <u>Requerimentos gerais para determinar a performance de um sistema</u>	5
2.2 - <u>Fatores que influenciam na performance da aspersão</u>	6
2.2.1 - <u>Influência dos fatores climáticos</u>	7
2.2.2 - <u>Influência dos fatores não climáticos</u>	11
2.3 - <u>Parâmetros de qualidade da irrigação por aspersão</u>	15
2.4 - <u>Distribuições estatísticas</u>	21
3 - <u>MATERIAIS E MÉTODOS</u>	23
3.1 - <u>Caracterização do experimento</u>	23

	Página
3.1.1 - <u>Localização geográfica</u>	23
3.1.2 - <u>Características climáticas</u>	23
3.1.3 - <u>Características do solo</u>	24
3.2 - <u>Procedimento de campo</u>	24
3.3 - <u>Determinação dos parâmetros de qualidade da irrigação por aspersão</u>	32
3.3.1 - <u>Modelo Linear</u>	33
3.3.2 - <u>Modelo Normal</u>	38
4 - <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	45
4.1 - <u>Aplicação dos modelos Linear e Normal</u>	45
4.2 - <u>Análise da Uniformidade de Distribuição</u>	52
4.2.1 - <u>Efeito da velocidade do vento sobre a uniformidade</u>	55
4.3 - <u>Comparação dos 2 Sistemas</u>	60
5 - <u>CONCLUSÕES</u>	67
6 - <u>RECOMENDAÇÕES</u>	69
7 - <u>LITERATURA CITADA</u>	71
ANEXO 01 - <u>PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO COM 2 RAMAIS MÓVEIS EM "Z"</u>	75
ANEXO 02 - <u>PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO COM 1 RAMAL MÓVEL EM "L"</u>	80
ANEXO 03 - <u>DADOS DE CAMPO DOS DOIS SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO ESTUDADOS</u>	85
ANEXO 04 - <u>EXEMPLO DE CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE PER-</u>	

<u>FORMANCE DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO</u>	98
ANEXO 05 - <u>DIAGRAMAS ADIMENSIONAIS ACUMULADOS DA DIS</u> <u>TRIBUIÇÃO REAL COM OS AJUSTES LINEAR E</u> <u>NORMAL DAS PRECIPITAÇÕES OBTIDAS NOS 12</u> <u>TESTES REALIZADOS EM AMBOS OS SISTEMAS ..</u>	104

LISTA DE TABELAS

TABELA		Página
01	Níveis dos parâmetros de qualidade de irrigação	16
02	Dados obtidos na Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pentecoste-CE) no ano de 1985	25
03	Características físicas do solo	26
04	Valores de E_a , E_s e D_p obtidos pelos Modelos Linear e Normal para os testes da área 01: 2 ramais móveis, aspersores ZE-30 (bocal 4,6 mm, pressão de serviço 3,2 atm, vazão 0,383 l/s)	46
05	Valores de E_a , E_s e D_p obtidos pelos Modelos Linear e Normal para os testes da área 02: 1 ramal móvel, aspersores ZED-30 (bocais 4,6 x 4,8 mm, pressão de serviço de 2,4 atm, vazão 0,707 l/s)	48
06	Valores de Coeficiente de Variação (Cv) e dos Coeficientes de Uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) e de HART (CUH) obtidos nos testes dos dois sistemas	53
07	Valores de velocidade e direção do vento	

TABELA

Página

	ocorridos durante os testes	61
08	Tempo de rotação e velocidade de rotação dos aspersores	66

LISTA DE TABELAS EM ANEXOS

TABELA	Página
09 Dados coletados na área 01, sub-área A, teste 1, horário I	86
10 Dados coletados na área 01, sub-área A, teste 2, horário I	37
11 Dados coletados na área 01, sub-área A, teste 1, horário II	88
12 Dados coletados na área 01, sub-área A, teste 2, horário II	89
13 Dados coletados na área 01, sub-área B, teste 1, horário I	90
14 Dados coletados na área 01, sub-área B, teste 2, horário I	91
15 Dados coletados na área 01, sub-área B, teste 1, horário II	92
16 Dados coletados na área 01, sub-área B, teste 2, horário II	93
17 Dados coletados na área 02, sub-área C, teste 1, horário I	94
18 Dados coletados na área 02, sub-área C, teste 2, horário I	95

TABELA

Página

19	Dados coletados na área 02, sub-área C, teste 1, horário II	96
20	Dados coletados na área 02, sub-área C, teste 2, horário II	97
21	Processo de adimensionalização dos dados: volumes coletados em ordem crescente e áreas acumuladas	101

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
01	Localização das áreas de teste (sub-áreas A e B) na área 01	28
02	Localização da área de teste (sub-área C) na área 02	29
03	Desenho esquemático das áreas de teste (sub-áreas A, B e C)	31
04	Diagrama esquemático do modelo Linear. Distribuição adimensional acumulada (após RIBEIRO, 1982)	35
05	Diagrama de frequência acumulada normalmente distribuída de padrões típicos de aspersores (WALKER, 1979b)	41
06	Esquema de definição do diagrama normal acumulado (WALKER, 1979b)	42
07	Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para dois testes da área 01, sub-área A: o teste 1 para o horário I (Cv = 28%, menor valor) e o teste 2 para o horário II (Cv = 59%, maior valor)	50
08	Relação entre os Coeficientes de Uniformi-	

FIGURA

Página

	dade de CHRISTIANSEN (CUC) e de HART (CUH) e o Coeficiente de Variação (Cv) para os dois sistemas de irrigação por aspersão estudados	56
09	Influência da velocidade do vento nos valores de CUC e CUH para os dois sistemas de irrigação por aspersão estudados	58

LISTA DE FIGURAS EM ANEXOS

FIGURA		Página
10	Croqui da área 01	79
11	Croqui da área 02	84
12	Processo de superposição dos volumes coletados, no espaçamento de 18 x 18 m (pluviômetros espaçados de 3 x 3 m)	100
13	Padrão superposto obtido, no espaçamento de 18 x 18 m, dos volumes coletados (pluviômetros espaçados de 3 x 3 m)	100
14	Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, respectivamente, da área 01, sub-área A, para o horário I (7-8 h)	105
15	Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, respectivamente, da área 01, sub-área A, para o horário II (14-15 h)	106
16	Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, res	

FIGURA

Página

	pectivamente, da área 01, sub-área B, para o horário I (7-8 h)	107
17	Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, respectivamente, da área 01, sub-área B, para o horário II (14-15 h)	108
18	Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, respectivamente, da área 02, sub-área C, para o horário I (7-8 h)	109
19	Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, respectivamente, da área 02, sub-área C, para o horário II (14-15 h)	110

RESUMO

Dois sistemas de irrigação por aspersão convencional foram instalados, em 1985, na Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pentecoste-CE, Brasil), em áreas de 1 ha cada, com o objetivo de estudar sua performance técnica. Um dos sistemas constou de dois ramais móveis em "Z" e o outro, de um ramal móvel em "L".

O sistema de dois ramais operou com aspersores ZE-30, a uma pressão de serviço de 3,2 atm e taxa de aplicação de 4,26 mm/h, no espaçamento de 18 x 18 m. Por sua vez, o sistema de um ramal móvel funcionou com aspersores ZED-30, a uma pressão de 2,4 atm e taxa de aplicação de 7,86 mm/h, no mesmo espaçamento.

A partir dos dados obtidos nos 12 testes de campo realizados, procedeu-se a determinação dos parâmetros de qualidade da irrigação (E_a = Eficiência de aplicação, E_s = Eficiência de armazenamento e D_p = Perdas por percolação) através da aplicação dos modelos Linear e Normal, assim como, a obtenção dos Coeficientes de Uniformidade, pela aplicação das equações propostas por CHRISTIANSEN (CUC) e por HART (CUH).

Através da análise dos resultados alcançados, chegou-se às seguintes conclusões:

- A aplicação do modelo Linear ou Normal é indistin

ta; no entanto, o modelo Linear é mais simples e prático de aplicar. De modo semelhante, o uso do CUC ou CUH, para representar a uniformidade da aspersão, é indiferente, porém o CUH é de cálculo mais rápido e prático;

- O aspersor ZE-30 (3,2 atm e 4,26 mm/h) apresentou maior sensibilidade ao aumento da velocidade do vento (e de Cv) em relação ao aspersor ZED-30 (2,4 atm e 7,86 mm/h);

- As condições amenas de velocidade do vento influenciaram para que as irrigações do horário matutino fossem de melhor qualidade que aquelas do horário vespertino. Não houve influência da direção do vento;

- Para as condições estudadas, os dois sistemas funcionaram tecnicamente iguais, porém, somente através de uma análise técnico-econômica será possível definir qual sistema deverá ser empregado para condições específicas. Estudos que tratem de tal análise são recomendados.

ABSTRACT

Two sprinkler irrigation systems were installed at the "Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pentecoste - CE, Brasil)", in 1985, on 1 ha area each one, in order to study their technical performance.

One the systems was a two lateral-lines system with ZE-30 sprinklers, spaced 18 x 18 m, pressure head of 3.2 atm and application rate of 4.26 mm/h. The other system was a one lateral-line system with ZED-30 sprinklers head, spaced 18 x 18 m, 2.4 atm operating pressure and 7.86 mm/h application rate.

The determination of the irrigation quality parameters (E_a = application efficiency, E_s = storage efficiency and D_p = deep percolation losses) was obtained from data of twelve field tests by application of the Linear and the Normal models. The Uniformity Coefficients were obtained with CHRISTIANSEN's (UCC) and HART's (UCH) equations.

The results showed that:

- The application of either the Linear or the Normal Model is indifferent, but the Linear Model is more simple and practical to apply. By the same way, the use of UCC or UCH is indifferent too, but the UCH is also more simple and practical to use;

- The ZE-30 sprinkler head (3.2 atm and 4.26 mm/h) presented more sensibility to increasing wind speeds than ZED-30 sprinklers (2.4 atm and 7.86 mm/h);

- The early morning irrigations were of better quality than the ones in the afternoon period due to the low wind speed conditions;

- The two systems studied were technically similar, but only an economical analysis can determinate wich one of them should be the best.

1 - INTRODUÇÃO

A água é um fator de primordial importância no desenvolvimento das culturas, porém, nem sempre está disponível em condições naturais e, por isso, deve ser aplicada artificialmente aos cultivos, suprimindo, desse modo, suas necessidades hídricas.

Dentre os vários métodos de irrigação existentes, a irrigação por aspersão é que permite aplicar água de maneira semelhante à chuva. Além disso, a aspersão é de fácil adaptação aos vários tipos de solo e relevo, aplicando água com considerável controle e economia.

Diversos fatores interferem na eficiência e uniformidade de aplicação da água neste método, destacando-se: pressão de serviço, velocidade e uniformidade de rotação do aspersor, altura da haste, diâmetro e tipo do bocal, e espaçamento. Fatores climáticos, tais como a velocidade e direção do vento, a umidade relativa do ar e a temperatura, também podem interferir na aplicação d'água por aspersão. Estes fatores precisam ser estudados para que possam ser conhecidos e controlados da melhor forma possível, permitindo que valores elevados de eficiência e uniformidade de irrigação sejam obtidos.

A busca da maximização da eficiência de irrigação deve ser um objetivo constante, pois ao lado de uma crescen

te demanda de alimentos devido ao aumento da população, verifica-se, na atualidade, uma diminuição dos recursos naturais relacionada com os períodos de seca prolongados, com a devastação de florestas protetoras dos mananciais hídricos, com a deterioração da qualidade da água e, até mesmo, com o aumento da competição pela água para interesses urbanos.

Uma análise real da qualidade da irrigação, ou seja, da performance técnica do sistema, só é possível quando são associados os conceitos de eficiência com medidas de uniformidade, adequacidade da irrigação e perdas. Evidentemente, deve-se estabelecer a relação custo-benefício entre a qualidade da irrigação e o valor econômico da cultura.

A avaliação dos sistemas de irrigação, após sua implantação, não é ainda prática comum nos dias atuais. Somente através da aplicação de uma metodologia de avaliação é possível verificar se a performance do sistema está de acordo com a que foi estabelecida no projeto, permitindo, assim, a aplicação de técnicas de manejo para a sua adequação.

Em base a estas premissas é que foi desenvolvido o presente trabalho, cujo propósito foi estudar as características técnicas de dois sistemas de irrigação por aspersão, com base nas medidas de uniformidade de CHRISTIANSEN e de HART, e nas medidas de eficiência geradas pelos modelos Linear e Normal.

2 - REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com BERNARDO (1982), a irrigação por aspersão é o método de irrigação em que a água é aspergida sobre a superfície do solo, assemelhando-se a uma chuva, por causa do fracionamento do jato d'água em gotas. Este fracionamento é obtido pela passagem da água sob pressão através de pequenos orifícios ou bocais. Seu objetivo básico é simular precipitações, de modo que quantidades d'água pré-estabelecidas sejam aplicadas uniformemente sobre a área a ser irrigada.

Para BAGLEY & CRIDDLE (1955), o propósito de uma boa irrigação por aspersão é evitar que partes do campo sejam sub-irrigadas enquanto outras sejam superirrigadas. A falta de uniformidade pode resultar em áreas de pobre cobertura vegetativa e baixa produção.

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 (LÓPEZ, 1972; citado por RIBEIRO, 1982) e nem deve ser muito baixa, especialmente em climas quentes e secos, a fim de que sejam evitadas elevadas perdas por evaporação (WALKER, 1979b; DAKER, 1954).

A quantidade de água que deve ser aplicada através de um sistema de aspersão depende da quantidade real neces

sária de água e da eficiência de aplicação do sistema de irrigação considerado. A quantidade de água requerida, geralmente expressa como lâmina líquida, é determinada em função do déficit da água disponível no solo, até a profundidade definida pelo sistema radicular da cultura, e eventuais exigências de lixiviação para remoção do excesso de sais solúveis da zona radicular (SCALOPPI, 1984).

Segundo CRIDDLE et al. (1969), a água aplicada em qualquer ponto, em uma revolução do aspersor, deveria desaparecer antes da água ser novamente aplicada naquele ponto. O movimento superficial de água sobre a área é insatisfatório e é indicativo de taxa de aplicação muito alta.

De acordo com BAGLEY & CRIDDLE (1955), eficiências de aplicação mais altas podem ser obtidas quando o sistema é projetado para aplicar água a uma maior taxa possível sem causar escoamento superficial.

A aplicação absolutamente uniforme da água não é possível, pois quase todos os aspersores cobrem áreas circulares. O grau de uniformidade que se pode obter depende, principalmente, do tipo de padrão de distribuição produzido e do espaçamento entre os aspersores. Numerosos outros fatores, tais como vento, pressão e uniformidade de rotação do aspersor, afetam a distribuição (CHRISTIANSEN, 1942).

Os aspersores devem funcionar dentro dos limites de pressão especificados pelo fabricante, para que se obtenha um bom perfil de distribuição. Se a pressão é muito alta haverá uma excessiva pulverização do jato d'água, diminuindo

seu raio de alcance, causando uma precipitação excessiva próximo ao aspersor. Ao contrário, se a pressão for muito baixa resultará numa inadequada pulverização do jato d'água, o que causará um perfil de distribuição muito irregular (BERNARDO, 1982).

HURD (1974) mostrou os perfis de distribuição de água para três condições de pressão de serviço de um aspersor rotativo.

2.1 - Requerimentos gerais para determinar a performance de um sistema.

De acordo com CRIDDLE et al. (1969), sete fatores principais devem ser determinados em qualquer sistema de aspersores rotativos para que se estabeleça a adequabilidade para projeto e operação do mesmo e, também, quais ajustes podem ser necessários na distribuição e no uso do equipamento: Taxa de aplicação - não deve ser tão alta que exceda a taxa de infiltração do solo, mas não deve ser tão baixa que permita perdas excessivas de água por evaporação; Lâmina de aplicação - não deve ser maior que a lâmina que o solo pode reter dentro da zona radicular da cultura, exceto quando é necessária a lixiviação de sais em excesso; Capacidade do sistema - deve ser tal que permita suprir a umidade do solo a uma taxa no mínimo igual à taxa máxima de uso da cultura; Uniformidade de aplicação - a água deve ser aplicada de mo-

do tão uniforme quanto possível sobre o campo. A área de menor aplicação deve receber no mínimo 80% da lâmina média aplicada em todo campo; Perdas d'água - para uso eficiente da água, as perdas não devem ser mais que 10 a 15% do total que entra no sistema; Diâmetro econômico da tubulação - a distribuição dos diâmetros da tubulação deve ser tal que haja um balanço econômico entre o custo da tubulação e o custo da energia; Dano à cultura - a água deve ser aplicada de modo que não haja prejuízos físicos à cultura.

2.2 - Fatores que influenciam na performance da aspersão.

O desempenho de um sistema de irrigação pode ser avaliado através da uniformidade com que a água é distribuída no campo. A uniformidade é afetada por vários fatores, dentre os quais está a diferença nas vazões individuais dos aspersores ao longo da linha lateral, e nas diferentes laterais, e é também afetada pela uniformidade da precipitação dentro da área efetiva de cada aspersor. As maiores perdas de água, em um sistema por aspersão, são devidas à ação do vento e à evaporação da água que ocorre entre o bocal do aspersor e o solo. O tamanho da gota e a taxa de aplicação também afetam estas perdas (WALKER, 1979b).

SOLOMON (1979) é enfático ao afirmar que o valor do coeficiente de uniformidade de um determinado sistema de aspersão depende principalmente de variáveis de projeto, como

tamanho e tipo de bocal, pressão e espaçamento de aspersores e, de uma variável incontornável - a velocidade do vento. Outros fatores são também mencionados como influentes no valor do coeficiente de uniformidade: medições imprecisas, diferenças físicas entre aspersores de mesmo modelo e marca, direção do vento, variabilidade do vento e demanda evaporativa do ar. Todos estes fatores podem contribuir para que haja inevitavelmente alguma variabilidade nos resultados de coeficientes de uniformidade.

2.2.1 - Influência dos fatores climáticos.

Vários autores (BAGLEY & CRIDDLE, 1955; CULVER & SINKER, 1966; FRY & GRAY, 1971; BERNARDO, 1982; DAKER, 1984) são unânimes em afirmar que os principais fatores climáticos que influenciam a eficiência de aplicação e a uniformidade são o vento, a temperatura e a umidade relativa. Fatores como o espaçamento dos aspersores, a pressão de operação e o movimento do ar também afetarão a eficiência de aplicação, mas podem ter um efeito mais prolongado sobre o padrão de distribuição (BAGLEY & CRIDDLE, 1955).

O vento é o fator climático 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 (LÓPEZ, 1972, citado por

RIBEIRO, 1982).

As perdas por evaporação e por arrastamento pelo vento são geralmente menores que 10%, dependendo da temperatura do ar, da velocidade do vento e da pressão de operação. Altas temperaturas e ventos fortes aumentam as perdas. Altas pressões de operação produzem pequenas gotículas que resultam em maiores perdas por evaporação e arrastamento (HALDERMAN & FROST, 1968).

Geralmente tem-se assumido que as perdas diretamente do jato podem ser apreciáveis, especialmente no calor, dias secos e sob ação dos ventos. Em adição à perda do jato, há perdas por evaporação direta das superfícies molhadas durante e após a aplicação da água (CHRISTIANSEN, 1942).

FROST & SCHWALEN (1955) relataram que as perdas do jato foram aumentadas para maiores déficits de pressão de vapor, velocidade do vento e pressão do bocal, e para menores tamanhos de bocais. As perdas medidas foram mais diretamente relacionadas ao déficit de pressão de vapor.

CHRISTIANSEN (1942) mostrou que as perdas por evaporação do jato são de cerca de 2%, desde que o jato não seja excessivamente pulverizado.

Mudanças casuais no vento podem alterar a distribuição superficial sobre o campo (HART et al. 1979).

CHRISTIANSEN (1942) encontrou perdas do jato, de um único bocal, variando de 10 a 40%. Em dias quentes e secos as perdas foram acima de 45%.

CLARK & FINLEY (1975) encontraram perdas menores que 10% para velocidade do vento menor que 4,5 m/s (16,2 Km/h). Estas perdas foram relacionadas ao déficit de pressão de vapor e à velocidade do vento. Acima deste valor, as perdas aumentaram exponencialmente com o aumento da velocidade do vento, para aproximadamente 30%.

KRAUS (1966) encontrou perdas do jato de 3 a 17% e afirmou que o arrastamento pelo vento foi responsável por 36% do total.

BAGLEY & CRIDDLE (1955) afirmaram que com ventos inferiores a 8 Km/h a eficiência total para o espaçamento de 12 x 18 m deve ser no mínimo 75%. Para ventos superiores a 16 Km/h, a eficiência total deve ser aproximadamente 67%.

Segundo DAKER (1984), a perda do jato pode ser estimada entre 2 e 8% do volume de água que passa pelos aspersores, podendo chegar a valores mais altos (até 30%) em condições extremas de temperatura, ventos secos e jatos muito pulverizados.

Para regiões sujeitas a ventos com velocidade acima de 4 m/s (14,4 Km/h), a perda por evaporação pode chegar a 30% ou mais (BERNARDO, 1982).

Estas perdas são inversamente proporcionais à duração da irrigação e, em geral, 3 a 4 vezes maiores durante o dia do que durante a noite (BERNARDO, 1978, citado por MEDEIROS FILHO, 1983).

Esperimentos de ERIE et al. (1954), citados por BAGLEY & CRIDDLE (1955), concluem que a umidade relativa do

ar, a taxa de aplicação de água e a temperatura têm consideravelmente mais efeito na eficiência de aplicação que a velocidade do vento ou o brilho do sol durante a irrigação.

CHRISTIANSEN (1942) realizou testes vespertinos e encontrou perdas que variam de 10 a 42% quando a temperatura do ar era de 105°F (40,6°C) e a UR de ±15%. Os resultados não mostraram correlação muito alta com a evaporação dos atmômetros ou com fatores como UR e déficit de pressão de vapor, mas que teve um efeito importante do brilho do sol.

STEINER et al. (1983) encontraram uma perda máxima de interceptação de 2,7 mm por irrigação, e afirmaram que as perdas do jato são as maiores perdas, alcançando a média de 15% sob condições de alta evaporação.

DYLLA & SHULL (1983), estudando perdas por evaporação e por arrastamento pelo vento de um sistema de aspersão, concluíram que a diferença entre o volume de água bombeado e o volume que atinge as superfícies do solo e da cultura é uma razoável estimativa destas perdas. E afirmaram que estas perdas estão relacionadas tanto com as condições evaporativas da atmosfera quanto com as condições peculiares da descarga d'água.

FROST & SCHWALEN (1955), citados por SEGINER (1971), elaboraram um nomograma que relaciona perdas de pulverização com umidade relativa do ar, temperatura do ar, velocidade do vento, diâmetro e pressão dos bocais.

2.2.2 - Influência dos fatores não climáticos.

Os fatores não climáticos tais como a pressão de serviço, a altura da haste e o diâmetro dos bocais do aspersor, podem ser controlados (MOLENAAR et al., 1954, citados por BAGLEY & CRIDDLE, 1955; FRY & GRAY, 1969); outros fatores como o espaçamento e a velocidade de rotação dos aspersores são, também, possíveis de ser controlados.

CHRISTIANSEN (1942) realizou testes com pressões inadequadas para determinar o efeito da baixa pressão de operação dos aspersores na distribuição de água, e mostrou que o efeito mais notável é no círculo externo da área coberta, onde a lâmina de aplicação foi várias vezes maior que na distância de 3 a 6 m do aspersor, o que produz uma distribuição muito irregular para todos os espaçamentos de aspersores.

Um outro aspecto causado pela baixa pressão é a menor área coberta, que é aproximadamente proporcional à redução na descarga do aspersor, quando a taxa média real de aplicação sobre a área coberta, em mm/h, não varia materialmente com uma variação na pressão (CHRISTIANSEN, 1942).

De acordo com CHRISTIANSEN (1942) os aspersores de revolução lenta são projetados para operar em velocidades de cerca de 1 RPM e nunca devem girar mais rápido que 4 RPM. Velocidade de rotação excessiva aumenta o desgaste nos pontos de apoio e eixo que, em consequência, pode causar rotação irregular do aspersor.

BERNARDO (1982) afirmou que para um bom desempenho dos aspersores a velocidade de rotação deve ser uniforme. Em geral os aspersores de baixa velocidade de rotação estão na faixa de 0,5 a 2 RPM.

CHRISTIANSEN (1942) trabalhando com aspersores de baixa revolução em condições favoráveis, pressão de serviço adequada, baixa velocidade do vento ($< 4,8$ Km/h) e velocidade de rotação em torno de 1 RPM, obteve perfil de distribuição de água triangular, que é o que produz a distribuição mais uniforme sobre uma grande área quando os aspersores estão apropriadamente espaçados.

Geralmente, dependendo do modelo utilizado, o aspersor fará uma revolução completa entre 30 e 120 segundos (RAWITZ, 1973, citado por OLITTA, 1984). Por outro lado WHITHERS & VIPOND (1974), citados por OLITTA (1984), afirmaram que a velocidade ideal de rotação de um aspersor está em torno de 2,5 m/s no perímetro externo da área coberta pelo aspersor.

De acordo com CHRISTIANSEN (1942) a alta velocidade de rotação provoca redução na área coberta pelo aspersor, o que resulta num aumento correspondente na taxa de aplicação real (até 40%) em comparação com o mesmo aspersor girando lentamente. Obviamente, os aspersores devem ter menor espaçamento quando girando rapidamente, para assegurar a mesma uniformidade de distribuição, e além disso, com sistemas portáteis, as linhas devem ser movidas mais frequentemente.

Segundo CHRISTIANSEN (1942), com taxa de rotação me

nor que 1 RPM, as irregularidades na distribuição, conseqüentes da variação desta taxa, são invisíveis a olho. A medição dos tempos nos quadrantes indicou que foi lançada mais água em uma direção que em outra. As variações da taxa de rotação devem-se à variação na fricção no ponto de apoio quando o aspersor está em diferentes posições. Aspersores já usados têm maior variação na taxa de rotação do que os novos e, numa mesma linha, há uma grande diferença na performance dos aspersores.

De acordo com RIBEIRO (1982) a velocidade de rotação do aspersor é fator importante na eleição do aspersor a ser usado, principalmente quando relacionada com a textura e a estrutura do solo. Um aspersor de baixa rotação e grande vazão, quando utilizado em solo de baixa taxa de infiltração, pode provocar encharcamento em determinados pontos do terreno e, caso exista declive suficiente, pode ocorrer escoamento superficial.

Este mesmo autor afirmou que para uma boa uniformidade de distribuição, o aspersor deve percorrer os 360° relativos a seu giro completo de forma homogênea, gastando um tempo de rotação aproximadamente igual nos 4 quadrantes.

CHRISTIANSEN (1942) determinou a taxa média de rotação de aspersores para cada ângulo de rotação de 30° e obteve evidência de que as variações na taxa de rotação foram grandemente responsáveis pela distribuição irregular.

Muitos solos têm taxa de infiltração muito baixa, e requerem aspersores com taxa de aplicação baixa (frequente-

mente 2,5 a 4 mm/h ou menos). Baixas taxas de aplicação requerem pequenos diâmetros de bocais para que produzam gotas pequenas. As pequenas gotas são mais afetadas pelo vento, altas temperaturas e baixas umidades relativas do ar, do que gotas maiores. Desse modo, alcançar uma distribuição uniforme é particularmente difícil com aspersores de baixa taxa de aplicação devido a sua sensibilidade à pressão, ao diâmetro do bocal e aos espaçamentos variáveis (HERMSMEIER, 1972).

CHRISTIANSEN (1942), em seus estudos, mostrou definitivamente que uma grande parte da perda calculada pode ser computada como evaporação das latas (utilizadas como pluviômetros), pois usando latas com funis, as perdas foram de 10% daquelas das latas abertas; verificou que o uso de latas com funis não mudou materialmente as perdas calculadas e explicou que, provavelmente, a razão é a evaporação da água da superfície molhada do funil, e que não foi encontrado um meio de eliminar esse erro; concluiu que as perdas medidas não devem ser consideradas como perdas por evaporação somente do jato, mas como perdas combinadas do jato e das latas durante o teste e o período de medição seguinte ao teste (± 30 min).

Trabalhando com aspersores Perrot ZED-30, instalados nas alturas de 0,5, 1,0, 1,5 e 2,0 m, GOMIDE (1978), citado por RIBEIRO (1982), encontrou que os maiores coeficientes de uniformidade foram obtidos com as maiores alturas de haste. Por outro lado, mostrou que a altura mais adequada da haste depende da cultura a ser irrigada. Salientou, ain-

da, que a haste deve ser instalada perpendicularmente à superfície do solo e bem acoplada à linha lateral para evitar vibrações.

Segundo STEINER et al. (1983), toda água que evapora ou que é carregada da área de aspersão não é uma perda líquida, pois estas perdas equiparam-se às perdas por evapotranspiração que teriam ocorrido em uma área não irrigada por aspersão.

Já que a água, às vezes, é aplicada a taxas de até 2,5 mm/h, uma apreciável perda por evaporação ocorre durante e imediatamente após a aplicação. Mesmo com taxas de 6 a 13 mm/h, mais de 10% da água pode evaporar quando ela é aplicada durante a tarde. A perda por evaporação à noite, entretanto, é usualmente muito baixa (CHRISTIANSEN, 1942).

HALDERMAN & FROST (1968) afirmaram que durante o tempo em que a água está evaporando das folhas molhadas, a ascensão da umidade pelas raízes fica reduzida, o que significa que a evaporação das folhas não é uma perda e sim uma substituição da água que deveria sair do solo. As perdas durante a aspersão em solos nus são maiores por causa deste efeito.

2.3 - Parâmetros de qualidade da irrigação por aspersão.

De acordo com HART et al. (1979), a performance de um sistema de irrigação pode ser completamente descrita em

termos de 4 parâmetros: Es - eficiência de armazenamento; Ep - eficiência de percolação profunda; Ed - eficiência de distribuição; Ud - uniformidade de distribuição. Os níveis dos parâmetros de qualidade de irrigação sugeridos estão na TABELA 01. Destes níveis podem ser desenvolvidos 6 (seis) categorias de performance de irrigação.

TABELA 01 - Níveis dos parâmetros de qualidade de irrigação

Parâmetro	Excelente	Satisf.	Insat.
Es	$\geq 0,8$	$\geq 0,5 < 0,8$	$< 0,5$
Ep	$\geq 0,8$	$\geq 0,5 < 0,8$	$< 0,5$
Ud	$\geq 0,9$	$\geq 0,7 < 0,9$	$< 0,7$
Ed	$\geq 0,8$	$\geq 0,6 < 0,8$	$< 0,6$

Categoria I - Os parâmetros Es, Ep e Ud estão na faixa excelente. Não é necessária nenhuma melhoria.

Categoria II - As eficiências Es e Ep estão na faixa excelente, mas a distribuição de água não está. A distribuição d'água deve ser melhorada para o mesmo nível de aplicação média.

Categoria III - Os parâmetros Ep e Ud estão na faixa excelente, mas o parâmetro Es não está. A lâmina média de aplicação deve ser aumentada.

Categoria IV - Os parâmetros Es e Ud estão na faixa excelente, mas o parâmetro Ep não está. O total de água aplicado deve ser reduzido.

Categoria V - O parâmetro Ud não está na faixa excelente e o parâmetro Es ou Ep, ou ambos, não está na faixa excelente, e $Es < Ep$. A performance da irrigação requer uma melhoria na distribuição. Se Es é deficiente, então a lâmina aplicada deve ser aumentada. Se somente Ep é deficiente, então a aplicação total deve ser diminuída e a distribuição melhorada.

Categoria VI - O parâmetro Ud não está na faixa excelente e o parâmetro Es ou Ep, ou ambos, não está na faixa excelente, e $Es > Ep$. A performance requer que a distribuição seja melhorada e que a aplicação total seja diminuída.

Uma medida comumente usada na prática de irrigação é a eficiência de aplicação, definida como a razão entre a água armazenada na zona radicular do solo, e utilizada pela cultura, e a água distribuída no campo. Entretanto, a eficiência de aplicação pode ser alta e a prática da irrigação ser deficiente, se a água aplicada não é uniformemente distribuída no campo e na zona radicular do solo (BAGLEY & CRIDDLE, 1955).

Nos estudos de avaliação de irrigação por aspersão, a eficiência de aplicação é a razão entre a quantidade de água que atinge a superfície do solo (medida por amostragens com pluviômetros) e a quantidade que é descarregada dos bocais dos aspersores (BAGLEY & CRIDDLE, 1955).

De acordo com HALDERMAN & FROST (1968) a água de irrigação pode ser aplicada, com um sistema bem projetado, a uma eficiência de 70 a 80%, o que significa que 70 a 80% da água bombeada fica armazenada no solo, disponível para as plantas.

Segundo BAGLEY & CRIDDLE (1955), a eficiência de distribuição dá uma medida da habilidade de um sistema aplicar iguais quantidades de água em todas as partes da área coberta.

Se não há perda d'água por escoamento superficial ou por percolação profunda, a eficiência de aplicação dá uma medida indireta das perdas d'água por arrastamento pelo vento e por evaporação (BAGLEY & CRIDDLE, 1955).

CHRISTIANSEN (1942) propôs a seguinte expressão numérica para servir como um índice da uniformidade de distribuição de água obtida numa irrigação chamada de coeficiente de uniformidade (CUC).

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

onde $|y_i - \bar{y}|$ é o desvio absoluto das observações individuais do valor médio \bar{y} , e n é o número de observações.

Quando a intensidade de aplicação em qualquer número de pontos igualmente espaçados sobre toda área coberta por um aspersor é determinada, o CUC pode ser calculado para qualquer espaçamento de aspersores que seja um múltiplo do espaçamento destes pontos de observação (CHRISTIANSEN,

1942).

HART (1961) e HART & REYNOLDS (1965), citados por RIBEIRO (1982), desenvolveram um coeficiente de uniformidade, considerando que a precipitação dos aspersores comumente usados sob espaçamentos padrões é normalmente distribuída e, conseqüentemente, seu padrão pode ser descrito por uma distribuição normal. Portanto, a média dos valores absolutos dos desvios em torno da média é igual ao produto do desvio padrão por uma constante de valor 0,798, ou seja

$$\sum_{i=1}^n \frac{|y_i - \bar{y}|}{n} = 0,798s \quad (2)$$

onde s é o desvio padrão.

O coeficiente obtido, chamado coeficiente de uniformidade de HART (CUH), é definido como:

$$CUH = 100 \left[1 - \frac{0,798s}{\bar{y}} \right] \quad (3)$$

O coeficiente de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) descreve a eficiência de aplicação para o caso em que a aplicação média de água é igual ao déficit (CHAUDHRY, 1976), e é igual ao CUH para uma distribuição normal (KARMELI et al. 1978). RIBEIRO (1982) concluiu que os valores de CUC e CUH podem ser usados indistintamente quando o valor do coeficiente de variação é baixo ou médio.

De acordo com WALKER (1979b), os sistemas de aspersão são caracterizados por valores de coeficiente de variação

maiores que 50% são muito pobremente projetados e/ou operados ($CUC \leq 60\%$).

RIBEIRO (1982) verificou que à medida que se aumenta o espaçamento, diminuem os coeficientes de uniformidade e as eficiências, enquanto aumentam, grandemente, as perdas por percolação profunda e o coeficiente de variação.

KELLER (1979), considerou baixos os valores de coeficientes de uniformidade abaixo de 79%.

RIBEIRO (1982) verificou que alguns de seus testes apresentaram coeficientes de uniformidade mais elevados do que outros, apesar de apresentarem maior velocidade do vento, e atribuiu o fato à direção do vento.

MOLENAAR et al. (1954), citados por BAGLEY & CRIDDLE (1955), obtiveram, para o espaçamento de 12 x 18 m, coeficientes de distribuição de 81% quando os ventos foram de 1,6 a 6,4 Km/h, 74% com ventos de 6,4 a 11,2 Km/h, e 60% com ventos de 11,2 a 17,6 Km/h. Em todos os casos, a uniformidade aumentou quando o espaçamento foi reduzido para 12 x 12 m.

Em seus estudos, BAGLEY & CRIDDLE (1955) obtiveram, indiferentemente do espaçamento, eficiência de distribuição média de 78% para ventos de 0 a 8 Km/h, 74% para ventos de 8 a 16 Km/h, e 55% para ventos de 16 a 24 Km/h. Especificamente para o espaçamento de 12 x 18 m, a eficiência de distribuição foi de 80% para ventos de 0 a 8 Km/h, e de 75% para ventos de 8 a 16 Km/h.

As perdas também provocam diminuição do diâmetro mo

lhado, causando portanto, influência negativa na uniformidade de distribuição e diminuem consideravelmente a lâmina média de água que chega ao solo (RIBEIRO, 1982).

2.4 - Distribuições estatísticas.

ELLIOT et al. (1980), estudando várias distribuições estatísticas que aproximam as distribuições de água em sistemas de aspersão, concluíram que a distribuição beta ajusta as lâminas de aplicação melhor que as distribuições normal e linear. Para coeficientes de uniformidade acima de 65% a distribuição normal forneceu um melhor ajuste que o linear. Para coeficientes menores, a distribuição linear apresentou melhor ajuste.

Para o cálculo dos volumes de água necessários na determinação das eficiências, ELLIOT et al. (1980) afirmaram que os modelos linear e normal são mais práticos de usar que o beta, mas este último é o mais acurado. Os mesmos autores afirmaram ainda que para os valores de coeficientes de uniformidade mais comumente encontrados em projeto e avaliação de sistemas de aspersão o modelo normal é mais recomendado que o linear para o cálculo das eficiências.

RIBEIRO (1982) aplicou o modelo linear de KARMELI e concluiu que é de fácil aplicação, possibilitando rápida análise e interpretação dos dados, e apresenta elementos práticos para verificação da performance de aspersores e

sistemas de irrigação.

Segundo KARMELI et al. (1978) a curva de frequência adimensional da aspersão usualmente tem a forma de "S" quando o padrão de distribuição tende para normal. O Cv tem um valor relativamente pequeno quando o padrão é altamente uniforme e a maioria da distribuição é próxima da média. Entre tanto, quando o padrão tende a ser menos uniforme, o Cv aumenta quando o desvio da média é maior, e a forma de "S" da curva de distribuição estica-se ficando mais próxima de uma linha reta.

Pode-se assumir que o ajuste normal é preferível para distribuição onde o Cv tende a ser pequeno. Todavia, o ajuste linear pode ser muito bom, quando a maior parte da curva de distribuição tende a concentrar em torno da média, e o erro em ambos os extremos da curva de frequência tende a ser relativamente pequeno. Para distribuição onde o Cv é grande (menos ajustado para o normal), o ajuste linear pre-diz melhor o padrão de distribuição, quando o erro em ambos os extremos da curva de frequência é de pequena magnitude (KARMELI et al., 1978).

Os resultados de KARMELI et al. (1978) mostraram uma diferença significativa entre as estimativas linear e normal onde o padrão de distribuição é de baixa qualidade (Cv > 62%), já onde o padrão é médio ou bom (Cv < 62%) não houve diferença significativa. Estes autores concluíram que enquanto o ajuste linear fornece boas estimativas para todo intervalo, o ajuste normal é bom somente para padrões médios ou bons.

3 - MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Caracterização do experimento.

3.1.1 - Localização geográfica

O presente trabalho foi conduzido na Fazenda Experimental do Vale do Curu (FEVC) pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará, durante o período de setembro a dezembro de 1985, em 2 (duas) áreas de aproximadamente 1 (um) hectare cada.

A Fazenda está localizada no município de Pentecoste - CE, a 110 Km de Fortaleza, entre as latitudes $3^{\circ}45'$ e $4^{\circ}00'$ S e as longitudes $39^{\circ}15'$ e $39^{\circ}30'$ W, a uma altitude de 47 m.

3.1.2 - Características climáticas

Segundo a classificação de KOEPPEN, o clima da região é seco, tipo BShW', que se caracteriza por apresentar a temperatura do mês mais frio nunca inferior a 18°C , concentrando-se as precipitações no período de janeiro a maio.

De acordo com os parâmetros utilizados por THORNTON, o clima é classificado como semi-árido D, com índice efetivo de umidade igual a -36,1 (SANTOS, 1985).

A TABELA 02 traz informações climáticas complementares.

3.1.3 - Características do solo

O solo é classificado como solonetz-solodizado eutrófico, intermediário para solo aluvial, argila de alta atividade, horizonte a fraco, textura média/argilosa intermediária para média, de acordo com os critérios de classificação adotados pela Equipe de Pedologia e Fertilidade do Solo (EPFS) do Ministério da Agricultura, e como mollic haplargid, de acordo com o sistema americano de classificação - 7ª aproximação (COELHO, 1971).

As características físicas do solo são apresentadas na TABELA 03.

3.2 - Procedimento de campo.

O experimento constou de dois sistemas semifixos de irrigação por aspersão montados em duas áreas de aproximadamente 1 hectare cada uma, plantadas com a cultura da cunhã

TABELA 02 - Dados obtidos na Estação Agrometeorológica da Fazenda Experimental do Vale do Curu (Pentecoste-CE) no ano de 1985.

MESES	TEMPERATURA DO AR					UMIDADE RELATIVA %	VENTO		INSOLAÇÃO horas	EVAPO-RAÇÃO mm	PRECIPI-TAÇÃO mm	PRESSÃO DE VAPOR mm Hg	NEBULO-SIDADE n/10
	MÉDIA COMPENS. °C	MÉDIA MÁXIMA °C	MÉDIA MÍNIMA °C	MÁXIMA ABSOLUTA °C	MÍNIMA ABSOLUTA °C		DIREÇÃO	VELOCIDADE Km/h					
JANEIRO	25,6	31,6	22,9	34,8	21,5	82,0	N	10,44	148,9	71,7	232,6	20,3	6,3
FEVEREIRO	25,0	29,8	22,0	32,0	20,4	90,0	N	6,48	89,4	27,3	310,0	22,5	7,5
MARÇO	25,6	30,2	22,8	32,1	21,8	90,0	N	6,84	115,5	27,9	301,8	23,0	6,7
ABRIL	25,4	30,1	21,5	31,7	20,7	90,0	N	6,48	107,0	24,7	290,6	22,9	7,3
MAYO	25,4	30,2	22,1	32,2	20,0	91,0	N	6,48	146,9	33,3	98,2	21,9	5,6
JUNHO	24,6	30,2	20,6	32,5	18,4	84,0	SSE	7,56	176,3	82,8	94,0	19,3	4,2
JULHO	24,6	30,3	20,5	32,0	18,7	80,0	SSE	9,36	219,0	78,6	51,4	18,4	4,5
AGOSTO	26,0	33,0	21,0	34,7	17,0	70,0	ENE	13,68	273,5	104,9	0,8	17,5	2,7
SETEMBRO	26,8	34,3	21,9	36,5	19,8	66,0	ESE	15,12	267,2	114,9	14,8	17,3	2,5
OUTUBRO	27,0	35,0	21,0	36,7	19,6	65,0	NNE	16,20	290,2	156,0	0,8	17,2	2,9
NOVEMBRO	27,4	34,7	21,8	35,8	20,3	64,0	NE	15,84	263,9	156,7	0,4	17,3	3,0
DEZEMBRO	26,9	32,9	22,8	35,4	19,4	74,0	NE	12,96	150,4	109,8	90,4	18,4	5,8
SOMA									2.115,9	988,6	1.485,8		
MÉDIA	25,9	31,9	21,7			79,0		9,72				19,7	4,9

TABELA 03 - Características físicas do solo

Camada (cm)	Composição granulométrica(%)				Textura	Densidade		Umidade(%) (volumétrica)		Taxa de Infiltração (mm/h)
	Areia Grossa	Areia Fina	Silte	Argila		Solo	Part.	CC	PM	
0-30	2,1	33,5	45,7	18,7	Franca	1,56	2,55	34,0	15,3	10,0
30-60	2,6	35,4	41,7	20,3	Franca	1,57	2,53	35,6	15,9	-
média 0-60	-	-	-	-	-	1,56	2,54	34,8	15,6	-

Resultados de análises realizadas no Laboratório de Solo-Água-Planta do DENA - CCA - UFC.

(*Clitoria ternatea* L.). Um dos sistemas era constituído de 2 ramais móveis em "Z", e o outro, de 1 ramal móvel em "L", ao longo da tubulação principal.

Na área designada 01 foi montado o sistema com 2 ramais móveis. Ambos os ramais funcionaram com 3 aspersores do tipo ZE-30 cada, movendo-se por 6 (seis) posições ao longo da linha principal, em sentidos opostos, simultaneamente (ver ANEXO 01).

Na área designada 02 foi montado o sistema com 1 ramal móvel, que funcionou com 3 aspersores do tipo ZED-30, movendo-se por 11 (onze) posições ao longo da linha principal (ver ANEXO 02).

Em ambos os sistemas o espaçamento entre aspersores era de 18 x 18 m.

Para conhecer o padrão de distribuição de água dos aspersores foram feitos testes entre dois aspersores nas linhas laterais quando estas funcionaram em posições intermediárias na linha principal (FIGURAS 01 e 02).

Os testes foram realizados durante o dia em dois horários, um matutino (7:00 - 8:00h) e um vespertino (14:00 - 15:00h), representando as condições mínimas e máximas de velocidade do vento durante o dia no local.

Cada teste teve a duração de 1 (uma) hora, quando era determinada a precipitação dos aspersores, a vazão e pressão de serviço, e a velocidade de rotação dos mesmos. Eram também determinadas a velocidade e a direção do vento e as condições de evaporação.

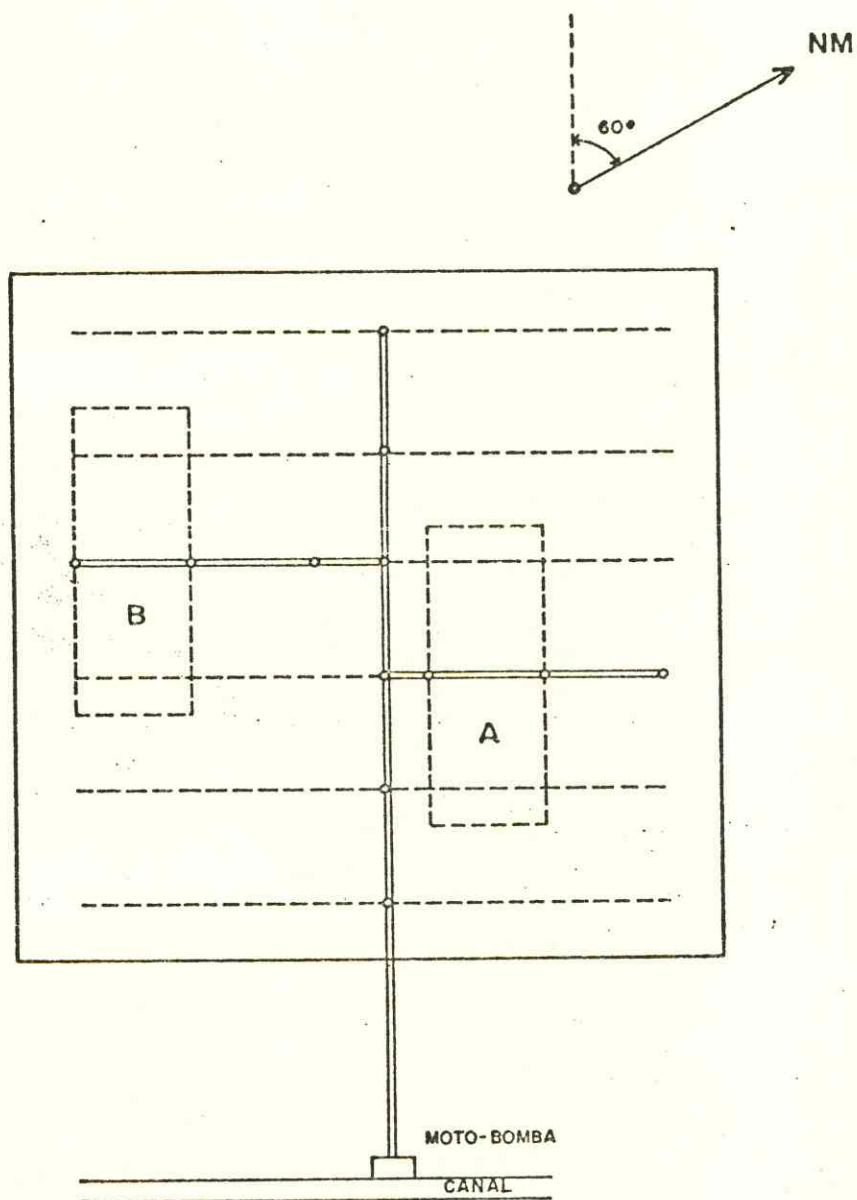


FIGURA 01 - Localização das áreas de teste (sub-áreas A e B) na área 01.

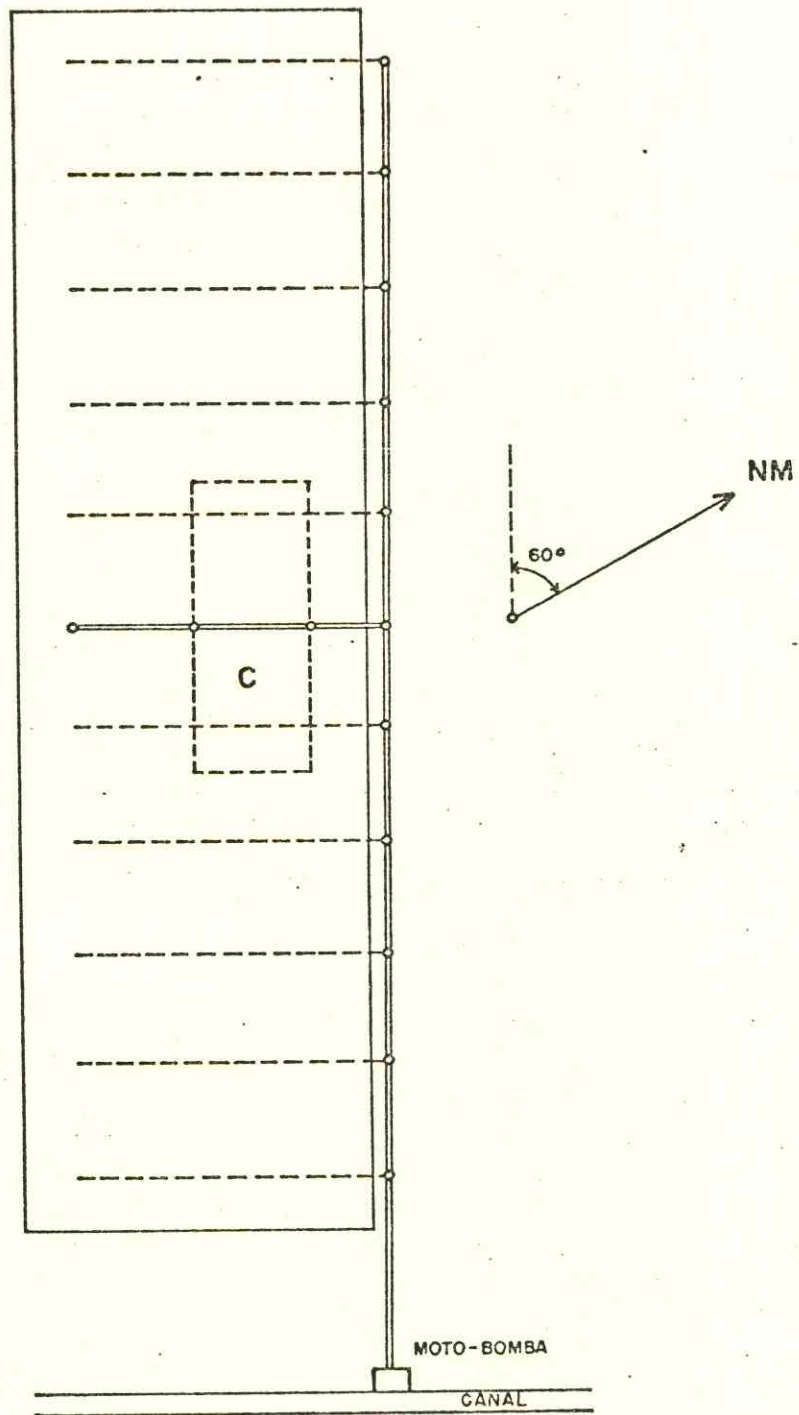


FIGURA 02 - Localização da área de teste (sub-área C) na área 02.

Para a coleta da precipitação, os pluviômetros (latas vazias de óleo lubrificante de 1 litro) foram distribuídos na área de teste espaçados de 3 x 3 m, assentados sobre suportes de madeira a 35 cm de altura do solo. Assim, cada pluviômetro representou uma área de precipitação de 9 m².

A medição dos volumes coletados era feita através de provetas graduadas, imediatamente após o término do teste.

Em cada área de teste foram instalados 96 pluviômetros, ocupando uma área de 864 m² (FIGURA 03).

A vazão dos aspersores era medida pelo processo direto, antes do início de cada teste, utilizando uma mangueira de 1,5" x 2 m, um recipiente com capacidade de 20,5 ℓ e um cronômetro. A vazão de cada aspersor era obtida pela média de 2 (duas) repetições.

A pressão de serviço dos aspersores era determinada com o auxílio de um manômetro acoplado a um tubo-pitot, antes do início de cada teste e conferida no decorrer do mesmo para assegurar a sua constância.

A velocidade de rotação dos aspersores era avaliada com o auxílio de um cronômetro, medindo-se o tempo em que o aspersor percorria cada quadrante e o círculo completo.

A velocidade e a direção do vento eram determinadas através de um conjunto anemômetro-catavento instalado no limite da área de experimento. As leituras eram feitas de 15 em 15 minutos durante os testes, o que deu uma frequência de 5 leituras para cada teste.

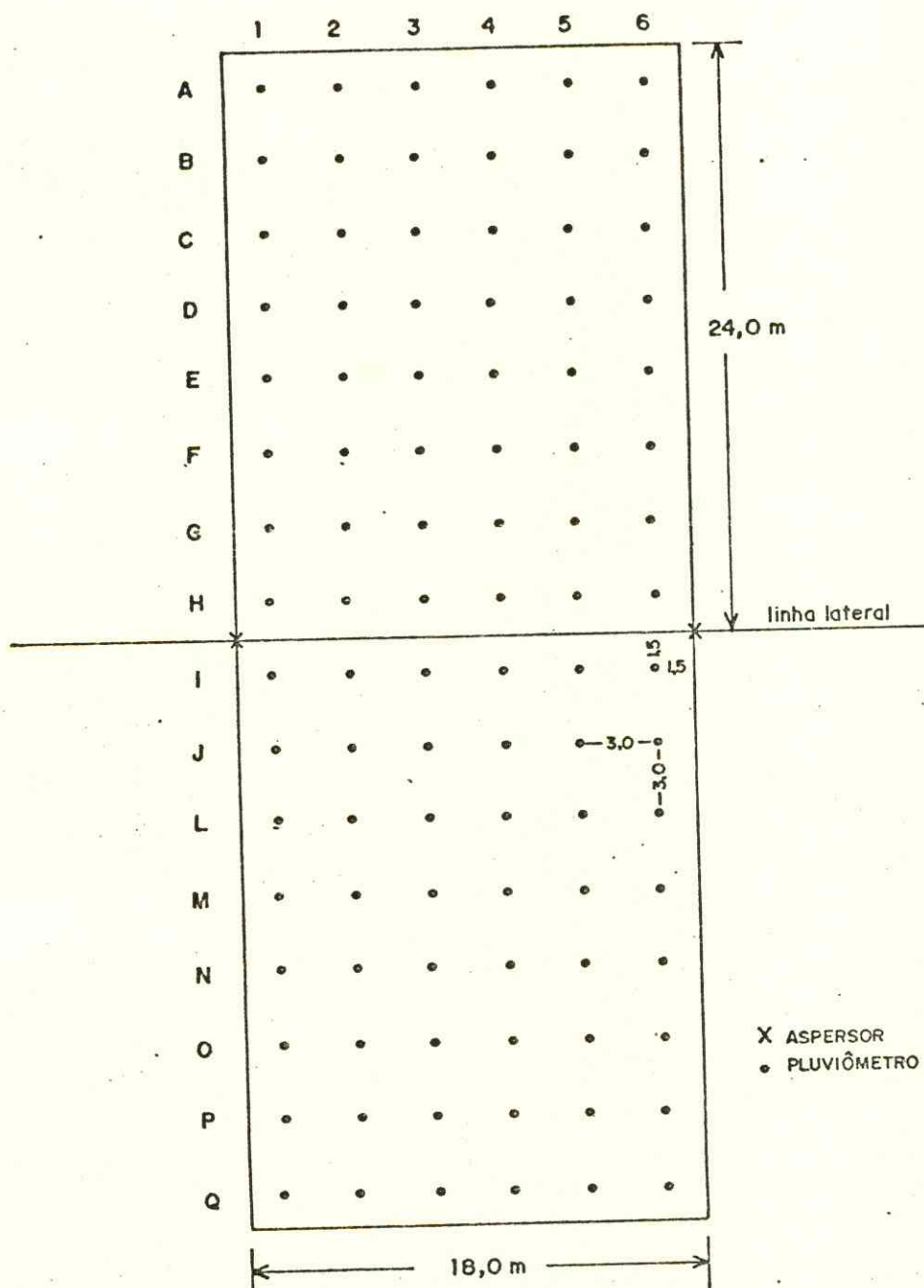


FIGURA 03 - Desenho esquemático das áreas de teste (sub-
 áreas A, B e C).

Para avaliar a evaporação, foi usado um recipiente igual aos pluviômetros, no limite da área do experimento, no qual eram colocados 50 ml de água no início de cada teste. No final, media-se novamente o volume do recipiente através de uma proveta graduada e, por diferença, obtinha-se o volume de água evaporado durante o teste.

A transformação dos volumes em lâminas fez-se por divisão destes pela área de coleta dos pluviômetros (diâmetro = 10 cm).

3.3 - Determinação dos parâmetros de qualidade da irrigação por aspersão

Foi determinada a lâmina líquida (yrr), a ser aplicada em cada irrigação a partir dos dados de capacidade de campo e ponto de murcha permanente (conteúdo de água em massa a 1/3 e a 15 atm, respectivamente) e de densidade do solo, considerando que a cultura tinha uma profundidade efetiva do sistema radicular de 40 cm e que consumia 50% da água disponível, através da expressão:

$$yrr = \frac{(CC - PM)}{100} \times Ds \times Pef \times fc \quad (4)$$

sendo: yrr = lâmina líquida (ou lâmina real requerida), mm;

CC = capacidade de campo, % em massa;

- PM = ponto de murcha permanente, % em massa;
 Ds = densidade do solo, g/cm³;
 Pef = profundidade efetiva do sistema radicular, mm;
 fc = fator cultural de consumo, 0 < fc < 1.

Esta informação juntamente com os dados de lâmina média coletada foi utilizada para calcular os parâmetros de qualidade de irrigação por aspersão: Eficiência de aplicação (Ea), Eficiência de Armazenamento (Es) e Perdas por Percolação (Dp). Para tanto, foram utilizados os modelos linear e normal, a seguir apresentados.

3.3.1 - Modelo Linear

KARMELI et al. (1978), citados por RIBEIRO (1982), sugeriram um modelo linear baseado na curva de frequência adimensional da profundidade de infiltração (Y) e na fração da área irrigada (X), que é representada pela função linear:

$$Y = a + bX \quad (5)$$

onde: $Y = \frac{y_i}{\bar{y}}$ = lâmina adimensional;

y_i = lâmina no coletor i (mm);

\bar{y} = lâmina média coletada (mm);

$X = \frac{A_i}{A_t}$ = fração da área irrigada;

A_i = área referente ao coletor i;

At = área total dos coletores;

a e b = coeficientes da equação linear.

O modelo linear, mostrado esquematicamente na FIGURA 04, utiliza variáveis adimensionais, conseqüentemente, a lâmina real adimensional de água necessária para suprir o déficit na zona radicular do solo (requerimento adimensional), Y_r , é obtida pela expressão:

$$Y_r = \frac{y_{rr}}{\bar{y}} \quad (6)$$

onde. y_{rr} = lâmina real de água necessária, mm;

\bar{y} = lâmina média d'água aplicada, mm.

A lâmina máxima, Y_{max} , e a lâmina mínima, Y_{min} , adimensional infiltrada, podem ser obtidas pelo modelo linear da seguinte maneira (FIGURA 04):

$$Y_{max} = 1 + 0,5b \quad (7)$$

$$Y_{min} = 1 - 0,5b \quad (8)$$

Os volumes déficit e útil podem ser obtidos pelas expressões:

$$V_d = \frac{(0,5b - \Delta)^2}{2b} \quad (9)$$

$$V_u = 1 - \Delta - V_d \quad (10)$$

onde: Δ = diferença entre a lâmina média aplicada ($\bar{Y} = 1$)

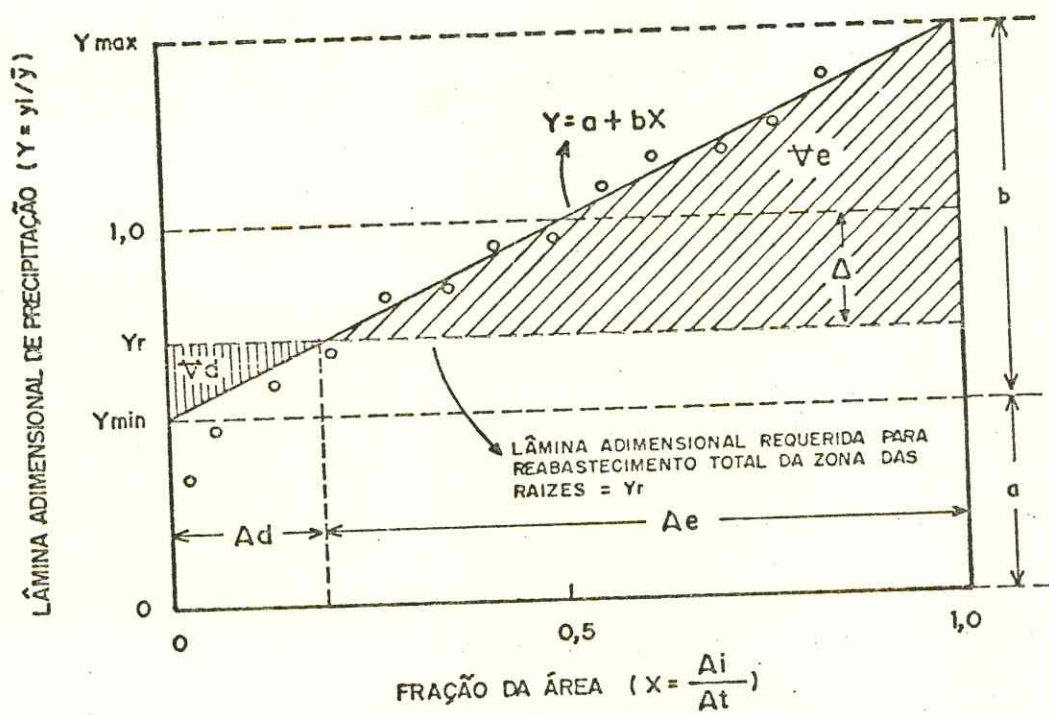


FIGURA 04 - Diagrama esquemático do modelo Linear. Distribuição adimensional acumulada (após RIBEIRO, 1982).

e o requerimento adimensional (Y_r), ou seja

$$\Delta = 1 - Y_r \quad (11)$$

Através dos valores assumidos pela lâmina adimensional requerida (Y_r), e considerando que não há escoamento superficial, pode-se chegar a 5 casos distintos:

Caso 1. A lâmina adimensional requerida é maior que a lâmina máxima ($Y_r > Y_{\max}$), então:

$$E_a = 1,0 \quad (12)$$

$$E_s = \frac{1,0}{Y_r} \quad (13)$$

$$D_p = 0 \quad (14)$$

Caso 2. A lâmina adimensional requerida é maior que 1,0 e menor ou igual à lâmina máxima ($1,0 < Y_r \leq Y_{\max}$), então:

$$E_a = 1 - \left| \left(\frac{1 + b/2 - Y_r}{2} \right) \left(1 - \frac{Y_r - 1 + b/2}{b} \right) \right| \quad (15)$$

$$E_s = 1 - \frac{|Y_r - (1 - b/2)|^2}{2 b Y_r} \quad (16)$$

$$D_p = 1 - E_a \quad (17)$$

Caso 3. A lâmina adimensional requerida é igual

a 1,0 ($Y_r = 1,0$), então:

$$E_a = 1 - \frac{b}{8} \quad (18)$$

$$E_s = 1 - \frac{b}{8} \quad (19)$$

$$D_p = 1 - E_a \quad (20)$$

Caso 4. A lâmina adimensional requerida é menor que 1 e maior ou igual à lâmina mínima ($Y_{\min} \leq Y_r < 1,0$), então:

$$E_a = Y_r - \frac{(Y_r - 1 + b/2)^2}{2b} \quad (21)$$

$$E_s = 1 - \frac{(Y_r - 1 + b/2)^2}{2bY_r} \quad (22)$$

$$D_p = 1 - E_a \quad (23)$$

Caso 5. A lâmina adimensional requerida é menor que a lâmina mínima ($Y_r < Y_{\min}$), então:

$$E_a = Y_r \quad (24)$$

$$E_s = 1,0 \quad (25)$$

$$D_p = 1 - E_a \quad (26)$$

3.3.2 - Modelo Normal

WALKER (1979a) produziu uma descrição empírica para as relações de uniformidade-eficiência da irrigação por aspersão que não requer integrações numéricas, assumindo que o padrão de aspersão pode ser simulado com uma distribuição normal.

Com uma distribuição normal padronizada tendo a média centrada em torno da ordenada, a distância vertical em qualquer valor da abcissa, x , é:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-x^2/2} \quad (27)$$

Similarmente, a área sob a curva de um valor de x até infinito é:

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-r^2/2} dr \quad (28)$$

As duas características de uma distribuição normal são que para $x = 0$, $Q(x) = 0,5$, e a área total sob a curva é a unidade.

ABRAMOWITZ & STEGUN (1968), citados por WALKER (1979a), deram uma conveniente aproximação polinomial para a equação (28):

$$Q(x) = f(x) (b_1 t + b_2 t^2 + b_3 t^3 + b_4 t^4 + b_5 t^5) \quad (29)$$

em que:

$$t = \frac{1}{1 + 0,2316419x} \quad (30)$$

$$b_1 = 0,31938153$$

$$b_2 = - 0,356563782$$

$$b_3 = 1,781477937$$

$$b_4 = - 1,821255978$$

$$b_5 = 1,330274429$$

A expressão polinomial é limitada para valores positivos de x , de modo que para $-\infty \leq x \leq 0$ a seguinte expressão é usada:

$$Q(-x) = 1 - Q(x) \quad (31)$$

O erro esperado nas três últimas equações é de aproximadamente $\pm 10^{-7}$.

Para padronizar os dados, o valor de x , nas equações precedentes, é definido como:

$$x = \frac{y_i - \bar{y}}{s} \quad (32)$$

que após a adimensionalização através da lâmina média aplicada fica:

$$x = \frac{Y_i - 1}{C_v} \quad (33)$$

em que $Y_i = y_i/\bar{y}$, lâminas adimensionais;

s = desvio padrão das lâminas aplicadas;

C_v = coeficiente de variação.

A variação típica das lâminas adimensionais (Y_i) é o intervalo $0 < Y_i < 2$, que corresponde a uma variação dos coeficientes de variação de $0 < C_v < 0,5$.

Os padrões de aspersão caracterizados por um $C_v \geq 0,6$, não podem ser considerados normalmente distribuídos.

Um gráfico da função de distribuição acumulativa normal [Y versus $Q(x)$] para esta variação de C_v é mostrada na FIGURA 05. Note que a distribuição acumulativa normal é assintótica a ambos os extremos da escala horizontal.

A distribuição acumulativa normal conduz a uma expressão relacionando a eficiência como uma função de uma área deficientemente irrigada.

Considere a definição esquemática mostrada na FIGURA 06, em que a umidade do solo foi diminuída até um nível idealizado uniforme e o coeficiente de variação caracterizando a uniformidade do sistema é tal que a distribuição acumulativa normal é como mostrada.

A lâmina média requerida de água necessária para preencher exatamente a zona radicular é uma fração da média, definida pela quantidade $1 - \Delta$, em que Δ é a diferença entre as lâminas média e requerida.

Por causa da função acumulativa normal ser assintótica à ordenada de $x = 0$ e de $x = \Delta$, é necessário definir um parâmetro Δ' que, para propósitos numéricos, representa

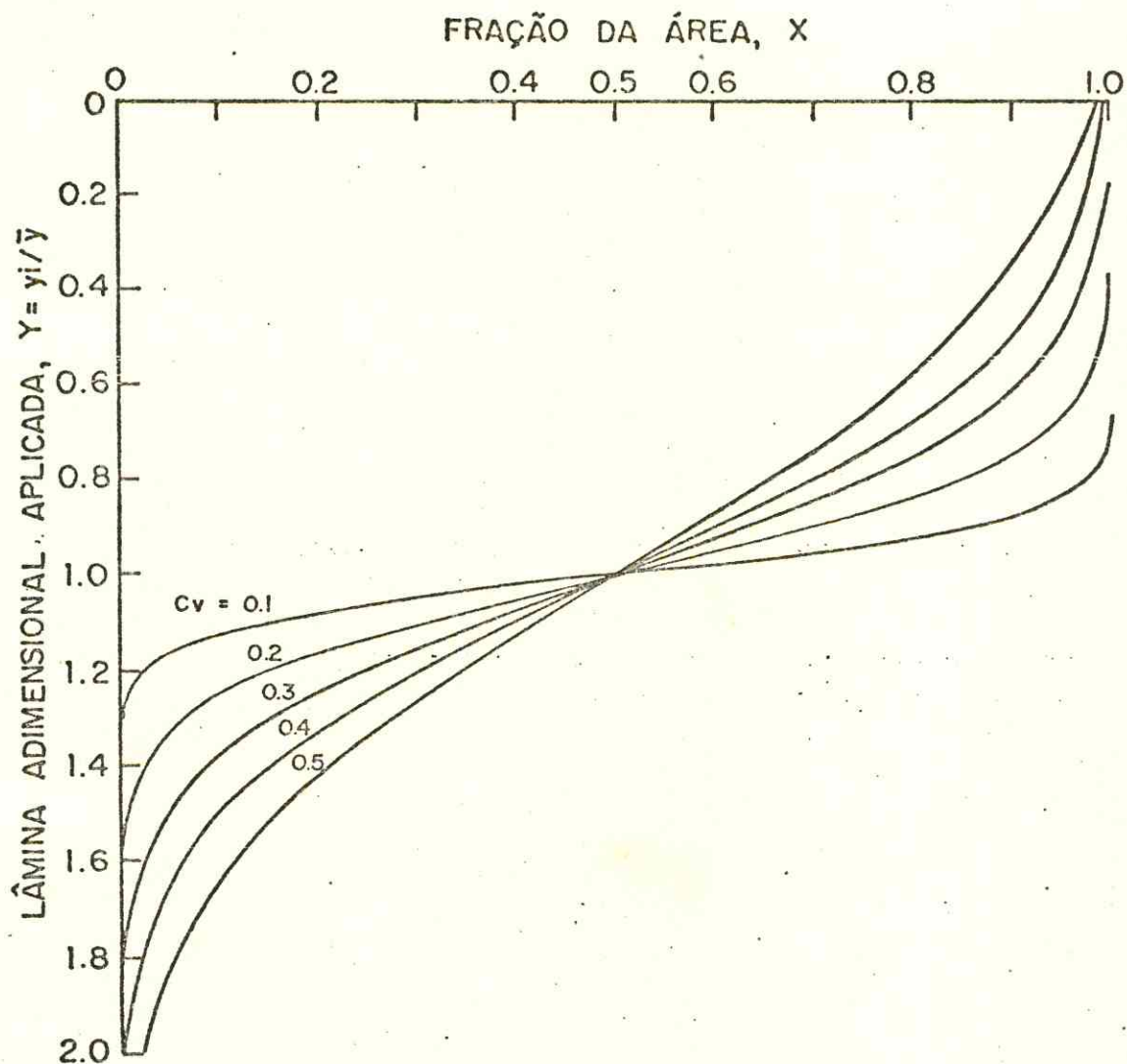


FIGURA 05 - Diagrama de frequência acumulada normalmente distribuída de padrões típicos de aspersores (WALKER, 1979b).

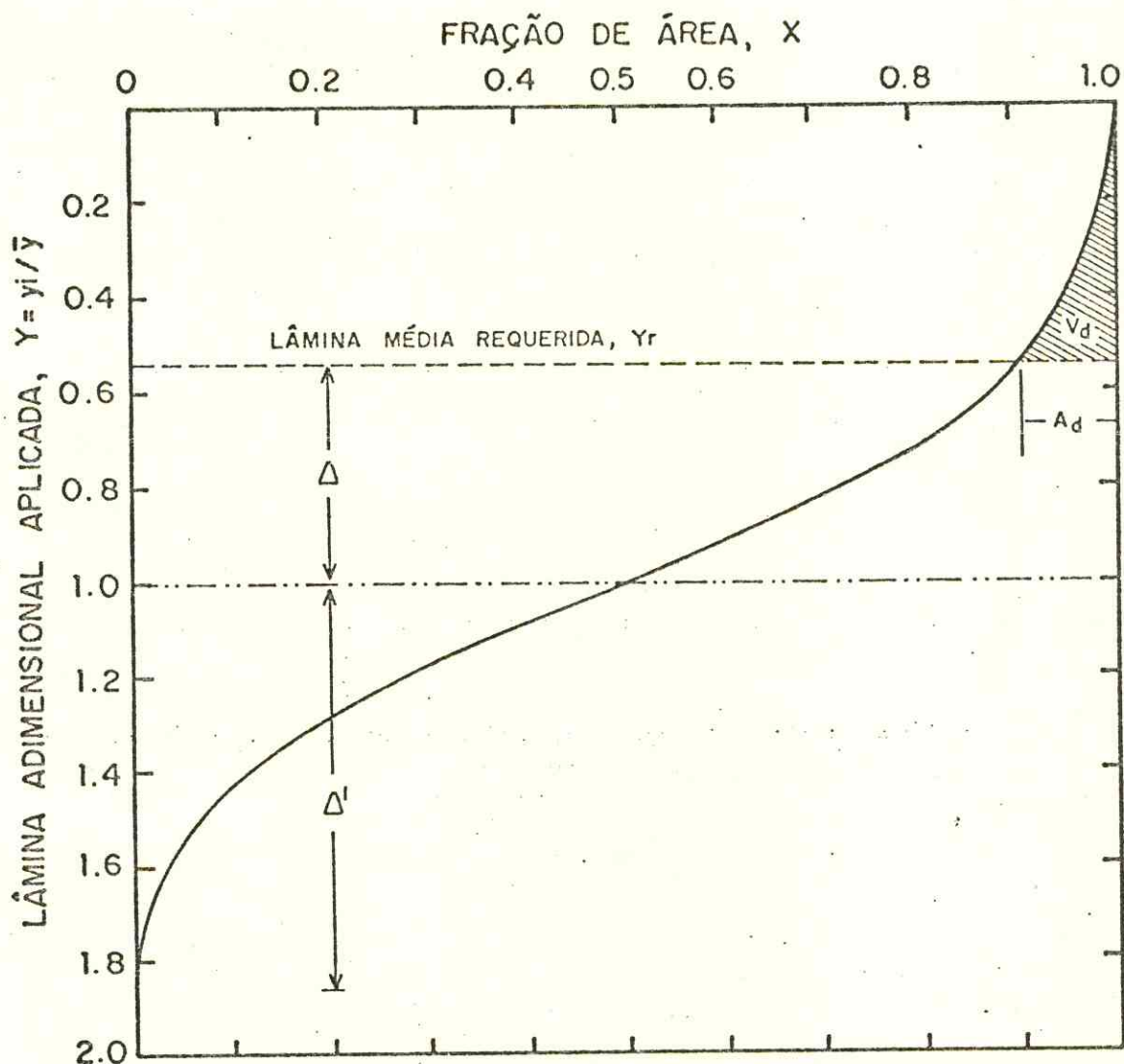


FIGURA 06 - Esquema de definição do diagrama normal acumulado (WALKER, 1979b).

o valor de $x = 0$ da função. O valor de Δ' é unicamente determinado pelo coeficiente de variação que caracteriza a distribuição. Para este modelo, Δ' foi definido como:

$$\Delta' = 3,634Cv \quad (34)$$

O valor da ordenada (Y) é então $1 + \Delta'$ e corresponde a $Q(x)$ ou valor da abcissa de cerca de 10^{-4} , que é suficiente para a sensibilidade planejada do modelo.

Por causa da natureza acumulativa da FIGURA 06, a interação da linha de lâmina requerida e a função acumulativa normal é uma fração da área deficientemente irrigada (Ad) e adequadamente irrigada ($1 - Ad$). O valor de Ad , expresso como uma porcentagem, é uma função única de Δ e Δ' e é aproximado por:

$$\frac{\Delta}{\Delta'} = 1 - 0,309Ad^{0,301} \quad (35)$$

ou

$$\Delta = Cv (3,634 - 1,123Ad^{0,301}) \quad (36)$$

A área sombreada na FIGURA 06 representa o volume adimensional deficientemente irrigado, Vd , que pode ser definido como:

$$Vd = 0,003Cv Ad^{1,233} \quad (37)$$

Agora a eficiência de aplicação já pode ser defini-

da:

$$Ea = 100 (1 - \Delta - Vd) \quad (38)$$

ou

$$Ea = 100 [1 - Cv(3,634 - 1,123Ad^{0,3} \times 0,003Ad^{1,233})] \quad (39)$$

A eficiência de armazenamento pode ser definida como:

$$Es = 100 \left(\frac{1 - \Delta - Vd}{1 - \Delta} \right) \quad (40)$$

ou

$$Es = \frac{Ea}{[1 - Cv (3,634 - 1,123Ad^{0,3})]} \quad (41)$$

As perdas por percolação profunda são dadas por:

$$Dp = 100 - Ea \quad (42)$$

O cálculo dos coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) e de HART (CUH) é feito independentemente das equações dos modelos acima referidos, utilizando-se, para isso, as lâminas não adimensionalizadas, através das equações 1 e 3, respectivamente.

No ANEXO 04 é apresentado um exemplo dos cálculos dos parâmetros de performance da irrigação.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Aplicação dos modelos Linear e Normal.

Os modelos Linear e Normal apresentados anteriormente foram aplicados aos 12 testes realizados com os dois sistemas de irrigação utilizados no presente estudo. Os dados de campo de ambos os sistemas constam do ANEXO 03.

Os parâmetros de avaliação, E_a (eficiência de aplicação), E_s (eficiência de armazenamento) e D_p (perdas por percolação profunda), calculados pela aplicação dos dois modelos, são apresentados nas TABELAS 04 e 05.

A TABELA 04 contém os resultados dos testes da área 01, para o sistema de dois ramais móveis e aspersores tipo ZE-30. Pode-se observar que os valores de E_a e E_s obtidos pela aplicação do modelo normal ($87,5\% < E_a < 99,3\%$, e $56,6\% < E_s < 89,3\%$) são ligeiramente superiores àqueles calculados pelo modelo linear ($86,1\% < E_a < 94,7\%$, e $64,6\% < E_s < 87,9\%$). Conseqüentemente, os valores de D_p do modelo normal ($0,7\% < D_p < 12,5\%$) são um pouco inferiores àqueles obtidos pela aplicação do modelo linear ($5,3\% < D_p < 13,9\%$). Do ponto de vista prático, estas diferenças não parecem ter grande importância, e a aplicação de um ou outro modelo é indistinta.

TABELA 04 - Valores de Ea, Es e Dp obtidos pelos Modelos Linear e Normal para os testes da área 01: 2 ramais móveis, aspersores ZE-30 (bocal 4,6 mm, pressão de serviço 3,2 atm, vazão 0,383 l/s).

Horário	Teste		Vento		Parâmetros de Avaliação (%)					
	Sub- área	Rep.	Vel. Km/h	Direção	Modelo Linear			Modelo Normal		
					Ea	Es	Dp	Ea	Es	Dp
I (7-8h)	A	1	7,1	NE	92,5	84,8	7,5	94,5	86,6	5,5
		2	9,1	L	86,1	87,9	13,9	87,5	89,3	12,5
	B	1	7,1	NE	89,5	80,7	10,5	91,8	82,8	8,2
		2	9,1	L	87,2	84,5	12,8	89,0	86,2	11,0
II (14-15h)	A	1	11,4	L	93,6	74,7	6,4	96,8	77,3	3,2
		2	15,6	L	87,9	67,3	12,1	93,3	71,5	6,7
	B	1	11,4	L	93,3	73,9	6,7	96,7	56,6	3,3
		2	15,6	L	94,7	64,6	5,3	99,3	67,8	0,7

No caso do sistema com um ramal móvel e aspersores do tipo ZED-30 (TABELA 05), os resultados comparativos dos modelos linear e normal seguem aproximadamente a mesma tendência do sistema de dois ramais. Assim é, que os valores de E_a variam entre 73,5 e 86,7% para o modelo normal e entre 73,4 e 83,4% para o linear; com relação a E_s , o intervalo de variação é de 85,1 a 95,0% para o modelo normal e, de 83,1 a 92,7% para o linear.

Um parâmetro de grande importância para comparar os modelos linear e normal é o coeficiente de variação, C_v (s/\bar{y}).

Os valores de C_v calculados para os testes realizados em ambas as áreas variam de 28% (para o teste 1, sub-área A, horário I) a 59% (para o teste 2, sub-área A, horário II). De acordo com KARMELI et al. (1978), há uma diferença significativa entre as estimativas linear e normal onde o padrão de distribuição é de baixa qualidade ($C_v > 62\%$). Estes autores concluíram que enquanto o ajuste normal é bom somente para padrões médios ou bons (valores de $C_v < 62\%$), o ajuste linear fornece boas estimativas mesmo para valores de $C_v > 62\%$. Desse modo, os resultados dos testes constantes do presente trabalho representam irrigações de padrão médio e bom, de modo que a aplicação de um ou outro modelo é indiferente, o que confirma os resultados de E_a , E_s e D_p anteriormente discutidos.

Mesmo que alguns autores afirmem ser o modelo normal mais recomendado que o linear para os padrões mais comumente obtidos na irrigação por aspersão, os resultados aqui

TABELA 05 - Valores de Ea, Es e Dp obtidos pelos Modelos Linear e Normal para os testes da área 02: 1 ramal móvel, aspersores ZED-30 (bocais 4,6 x 4,8 mm, pressão de serviço 2,4 atm, vazão 0,707 l/s).

Horário	Teste		Vento		Parâmetros de Avaliação (%)					
					Modelo Linear			Modelo Normal		
	Sub- área	Rep.	Vel. Km/h	Direção	Ea	Es	Dp	Ea	Es	Dp
I (7-8h)	C	1	10,6	SE	79,5	87,1	20,5	86,7	95,0	13,3
		2	2,5	SO	73,4	92,7	26,6	73,5	92,8	26,5
II (14-15h)	C	1	10,8	L	83,4	83,1	16,6	85,5	85,1	14,5
		2	9,4	NE	77,1	88,2	22,9	78,0	89,3	22,0

apresentados demonstram que não há diferença entre o uso de um ou de outro modelo. No entanto, o modelo linear é de mais fácil aplicação do que o normal e possibilita uma rápida análise e interpretação dos dados (ELLIOT et al., 1980; RIBEIRO, 1982).

A FIGURA 07 mostra um diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada com as distribuições ajustadas pelos modelos linear e normal. Os resultados apresentados referem-se a dois testes do sistema de dois ramos, sendo que o teste 1 (sub-área A, no primeiro horário) apresenta o menor valor de Cv (28%), e que no teste 2 (sub-área A, no segundo horário) o valor de Cv é o maior obtido (59%). Os diagramas dos demais testes estão no ANEXO 05.

Pode-se perceber, através da FIGURA 07, que o modelo linear apresentou melhor ajuste aos dados da distribuição real, em relação ao modelo normal, uma vez que o erro nos dois extremos da curva é menor para o ajuste linear em ambos os testes, independente do valor de Cv (28 ou 59%) (KARMELI et al., 1978). É possível observar ainda, que a curva do ajuste normal, relacionada ao maior valor de Cv (59%), possui a forma de um "S" mais esticado que aquela referente ao menor valor (Cv = 28%). Estes resultados estão de acordo com os estudos feitos por WALKER (1979b) (ver FIGURA 05). Do mesmo modo, KARMELI et al. (1978) também observaram que quando o padrão de distribuição tende a ser menos uniforme o valor de Cv aumenta, demonstrando maior desvio das observações em relação à média. Assim, a distribuição com maior coeficiente de variação (59%) abrange uma maior

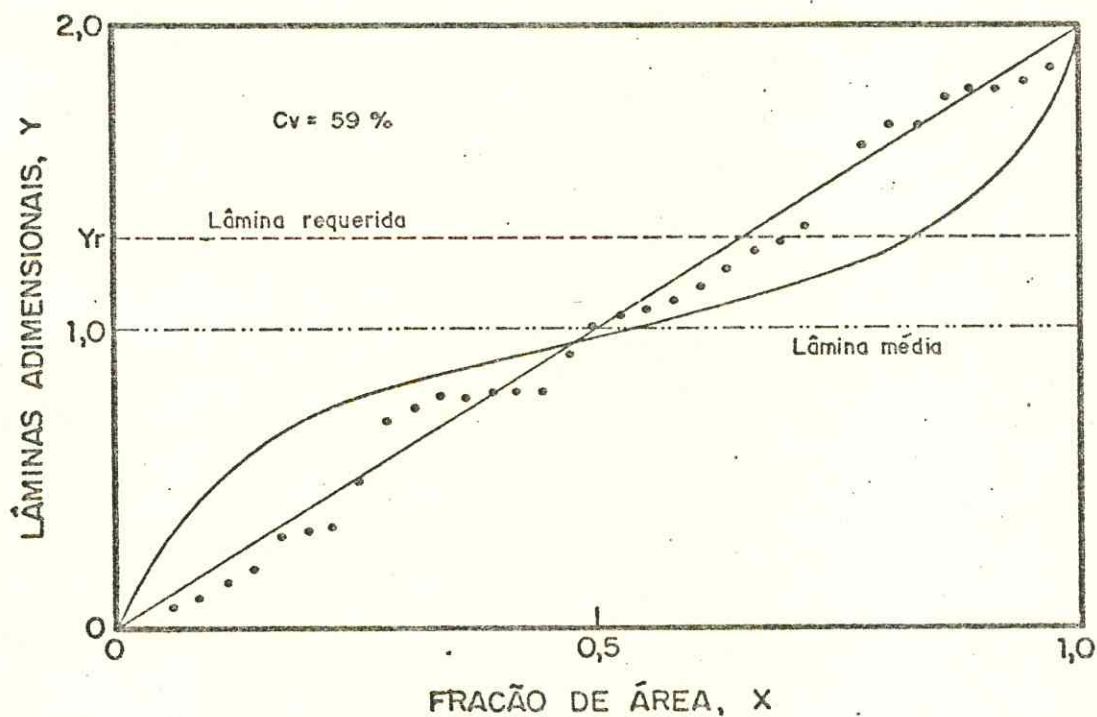
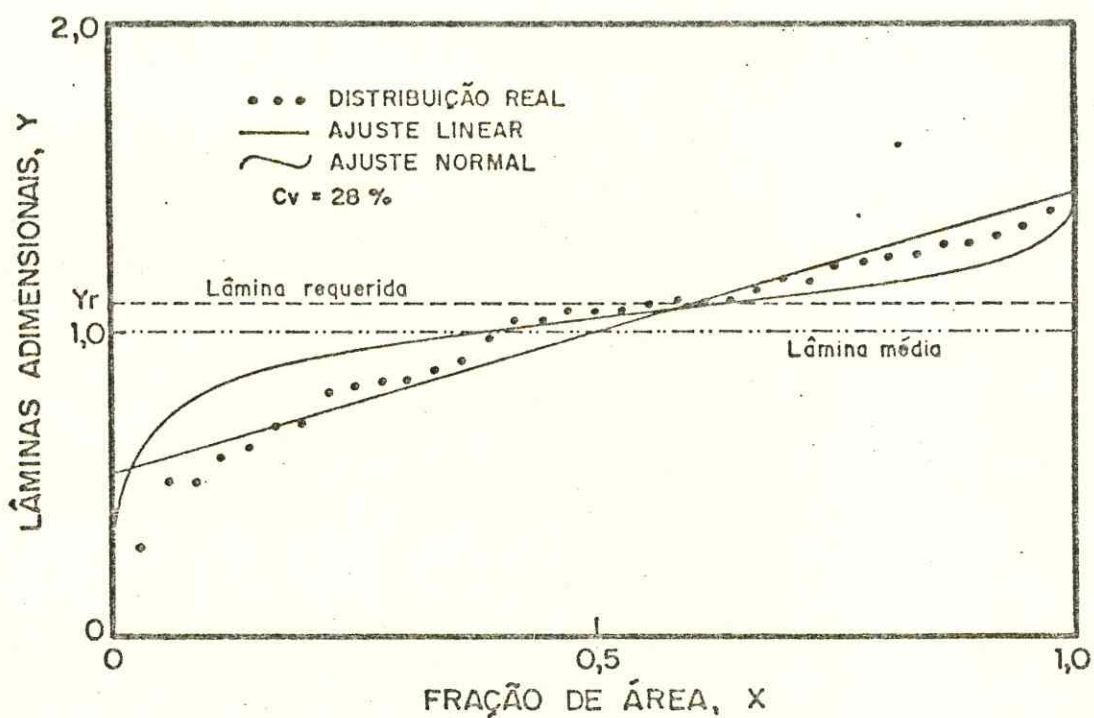


FIGURA 07 - Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para dois testes da área 01, sub-área A: o teste 1 para o horário I (Cv = 28%, menor valor) e o teste 2 para o horário II (Cv = 59%, maior valor).

amplitude de valores de lâminas aplicadas adimensionais ($0 < Y < 2$), enquanto que para $C_v = 28\%$ os valores de Y variam entre 0,25 e 1,5. O mesmo tipo de análise pode ser feito para os demais testes realizados (ver ANEXO 05).

O grau de uniformidade que se pode obter depende primariamente do padrão de distribuição do aspersor e do espaçamento. Por sua vez, o padrão de distribuição depende da pressão de operação e das condições de vento (KELLER, 1979). Dessa forma, considerando que o espaçamento utilizado foi de 18 x 18 m (quadrado) e que a pressão de operação foi constante (3,2 atm), pode-se afirmar que a diferença entre os valores de C_v (28 e 59%) para estes dois testes é, sem dúvida, uma decorrência do alto valor da velocidade do vento ocorrido no teste de maior coeficiente de variação (horário II, 15,6 Km/h), que atingiu mais que o dobro daquele ocorrido no teste de menor coeficiente de variação (horário I, 7,1 Km/h). Como será discutido mais adiante, estes resultados são inversamente proporcionais aos coeficientes de uniformidade (ver TABELA 06). Apesar da direção do vento ter sido diferente para os dois testes (NE e L, respectivamente), não houve provavelmente contribuição para esta diferença, pois segundo SOLOMON (1978 e 1985), citado por VORIES e von BERNUTH (1985), para espaçamento quadrado, seu efeito é desprezível. Análise semelhante pode ser feita para os demais testes apresentados no ANEXO 05.

Os resultados apresentados permitem concluir, para as condições dos 12 testes realizados neste estudo, que os modelos linear e normal podem ser indistintamente utiliza-

dos para a determinação dos parâmetros de performance da irrigação por aspersão. No entanto, a aplicação do modelo linear é mais simples e prática.

4.2 - Análise da Uniformidade de Distribuição.

Para analisar a uniformidade de distribuição das irrigações representadas pelos 12 testes realizados neste estudo, foram utilizados os coeficientes de uniformidade calculados pela equação proposta por CHRISTIANSEN (CUC), e pela equação proposta por HART (CUH), ambas apresentadas anteriormente.

Os valores de CUC e CUH constam da TABELA 06. Observa-se que os valores dos coeficientes de uniformidade, de um modo geral, variam de 51,0 a 77,6%. Estes resultados indicam que os sistemas em questão funcionaram com baixa uniformidade de distribuição, visto que o valor para o coeficiente de uniformidade aceito como mínimo na literatura é de 80% ($CU \geq 80\%$). Observa-se ainda que não há praticamente diferença entre os valores de coeficientes de uniformidade calculados pelas duas equações utilizadas (CUC variou de 51,0 a 77,2% e CUH de 52,9 a 77,6%).

A equação de CHRISTIANSEN é a mais comumente usada para avaliar a uniformidade dos sistemas de irrigação por aspersão, e a equação de HART é a que proporciona valores mais aproximados aos da equação de CHRISTIANSEN. Entretanto-

TABELA 06 - Valores de Coeficiente de Variação (Cv) e dos Coeficientes de Uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) e de HART (CUH) obtidos nos testes dos dois sistemas.

Área	Horário	Teste		Vento		Cv(%)	Coeficientes de Uniformidade (%)	
		Sub- área	Repet.	Veloc. (Km/h)	Dire ção		CUC	CUC
01	I	A	1	7,1	NE	28,0	77,2	77,6
			2	9,1	L	30,9	76,5	75,4
		B	1	7,1	NE	38,3	71,9	69,4
			2	9,1	L	35,1	72,6	72,0
	II	A	1	11,4	L	40,8	70,5	67,5
			2	15,6	L	59,0	51,0	52,9
		B	1	11,4	L	42,4	68,1	66,2
			2	15,6	L	53,4	56,2	57,4
02	I	C	1	10,6	SE	38,2	69,9	69,5
			2	2,5	SO	33,7	71,1	73,1
	II	C	1	10,8	L	40,4	68,0	67,8
			2	9,4	NE	37,9	68,8	69,7

to, a equação de HART é de mais fácil aplicação, visto que o desvio padrão (s) é mais facilmente calculado que a soma dos desvios absolutos ($\sum |Y_i - \bar{Y}|$).

Segundo HART (1985), CUC e CUH são identicamente iguais se as observações são gaussianamente (normalmente) distribuídas, como é o caso de muitas instalações práticas de irrigação por aspersão. Nesses casos, aproximadamente 80% da área terá recebido uma aplicação igual ou superior ao produto do coeficiente de uniformidade pela lâmina média aplicada ($CU \cdot \bar{Y}$).

RIBEIRO (1982) concluiu que os valores de CUC e CUH podem ser usados indistintamente quando o valor do coeficiente de variação é baixo ou médio. Esta conclusão é confirmada pelo presente estudo.

Como foi dito anteriormente, todos os valores de coeficiente de uniformidade estão abaixo de 80% e, dessa forma, representam irrigações de baixa uniformidade de distribuição. Sendo assim, faz-se necessária a aplicação de técnicas de manejo para a melhoria da distribuição.

A recomendação para o aumento da uniformidade de distribuição é alternar, para cada irrigação subsequente, as posições de funcionamento das linhas laterais ao longo da tubulação principal, de forma que, no cômputo geral, os valores de CU são aumentados. Esta técnica de manejo possibilita a uniformidade de distribuição acima do valor mínimo citado.

Com o objetivo de analisar melhor o efeito do coefi

ciente de variação nos valores de CU, elaborou-se a FIGURA 08, que mostra a relação entre os coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) e de HART (CUH) e o coeficiente de variação (Cv) da distribuição de precipitações obtida em cada teste, para os dois sistemas de irrigação por aspersão estudados. As três curvas indicam que a relação é negativa, ou seja, os valores de CUC e CUH decrescem para valores crescentes de Cv.

Pode-se constatar que os valores de coeficiente de uniformidade obtidos pelas equações de CHRISTIANSEN e de HART são realmente muito próximos e que as declividades das curvas seguem uma tendência semelhante.

Observa-se que, no caso particular de CUH, as curvas para os dois sistemas são coincidentes e que são representadas por uma linha reta.

Das curvas geradas pelo CUC, observa-se que aquela referente ao aspersor ZED-30 (dois bocais e 2,4 atm) tem menor declividade que aquela do aspersor ZE-30 (um só bocal e 3,2 atm). Aparentemente, o aspersor ZE-30 apresentou maior sensibilidade ao aumento de Cv, visto que operou com maior pressão e menor taxa de aplicação.

4.2.1 - Efeito da velocidade do vento sobre a uniformidade.

Como discutido anteriormente, o vento é o fator que mais afetou a uniformidade de distribuição da água nos dois

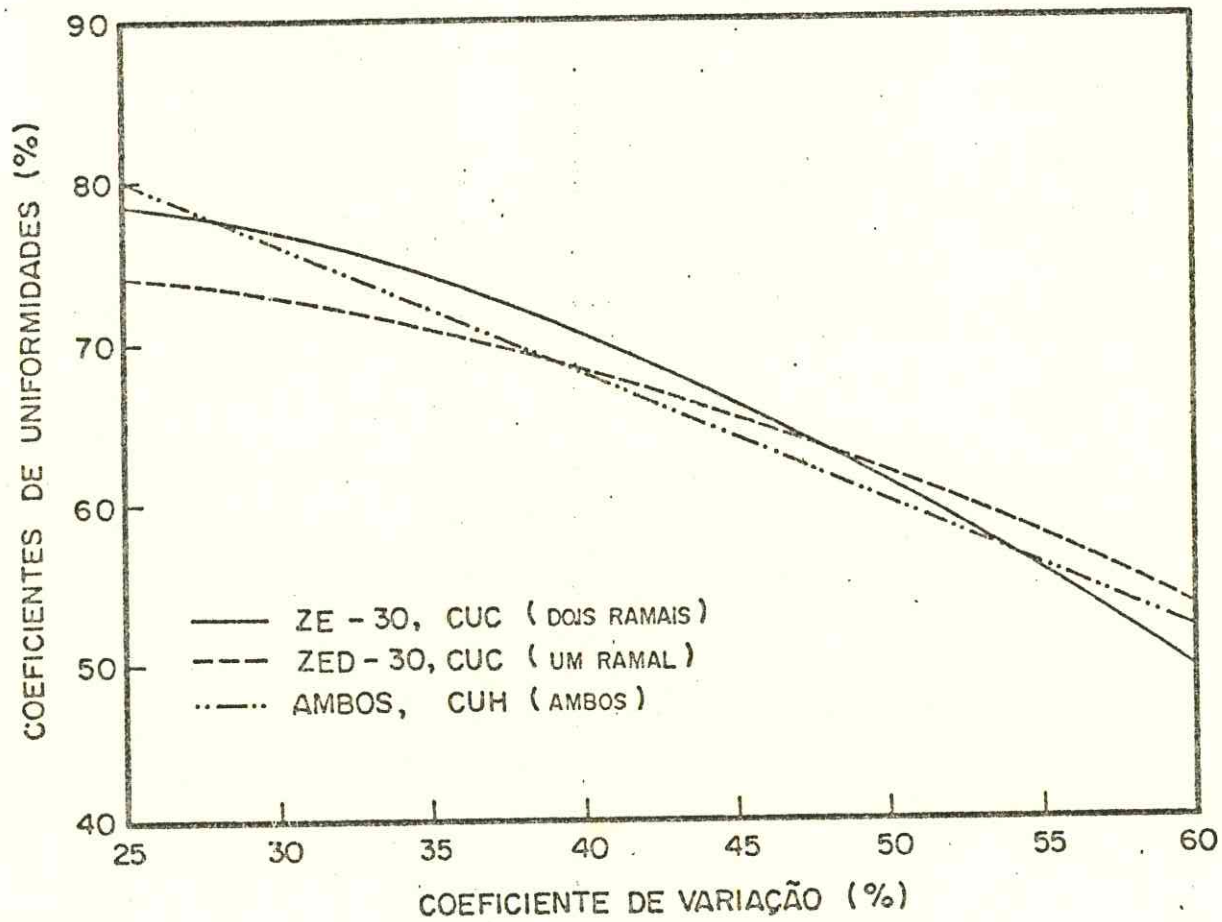


FIGURA 08 - Relação entre os Coeficientes de Uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) e de HART (CUH) e o Coeficiente de Variação (Cv) para os dois sistemas de irrigação por aspersão estudados.

sistemas de irrigação por aspersão aqui estudados, uma vez que a pressão de serviço e o espaçamento foram mantidos constantes.

Para observar este fato, faz-se necessária uma nova análise da TABELA 06. Nela verifica-se que, para o sistema de aspersão com 2 ramais móveis, os coeficientes de uniformidade obtidos nos testes realizados pela manhã, horário de menor velocidade de vento (7,1 a 9,1 Km/h), alcançaram valores mais elevados (69,4 a 77,6%); por outro lado, os mais fortes ventos da tarde (11,4 a 15,6 Km/h), proporcionaram menores valores de coeficientes de uniformidade (51,0 a 70,5%). De um modo particular, este sistema foi o que apresentou os valores extremos de coeficiente de uniformidade (51,0 e 77,6%). Observa-se que o menor valor (51%) está relacionado à maior velocidade do vento (15,6 Km/h), e que o maior valor (77,6%) se deve à menor velocidade do vento de 7,1 Km/h. De modo semelhante, para o sistema de 1 ramal móvel, o menor valor de velocidade de vento (2,5 Km/h), ocorrido pela manhã, permitiu melhor uniformidade (CUC = 71,1% e CUH = 73,1%) e a maior velocidade de vento no período da tarde (10,8 Km/h) proporcionou menores coeficientes de uniformidade (CUC = 68,0% e CUH = 67,8%).

Estes resultados são apresentados na forma de gráfico na FIGURA 09. Esta figura mostra a variação da uniformidade de distribuição da água, representada pelos coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) e de HART (CUH), com a velocidade do vento, para os dois sistemas de irrigação por aspersão estudados.

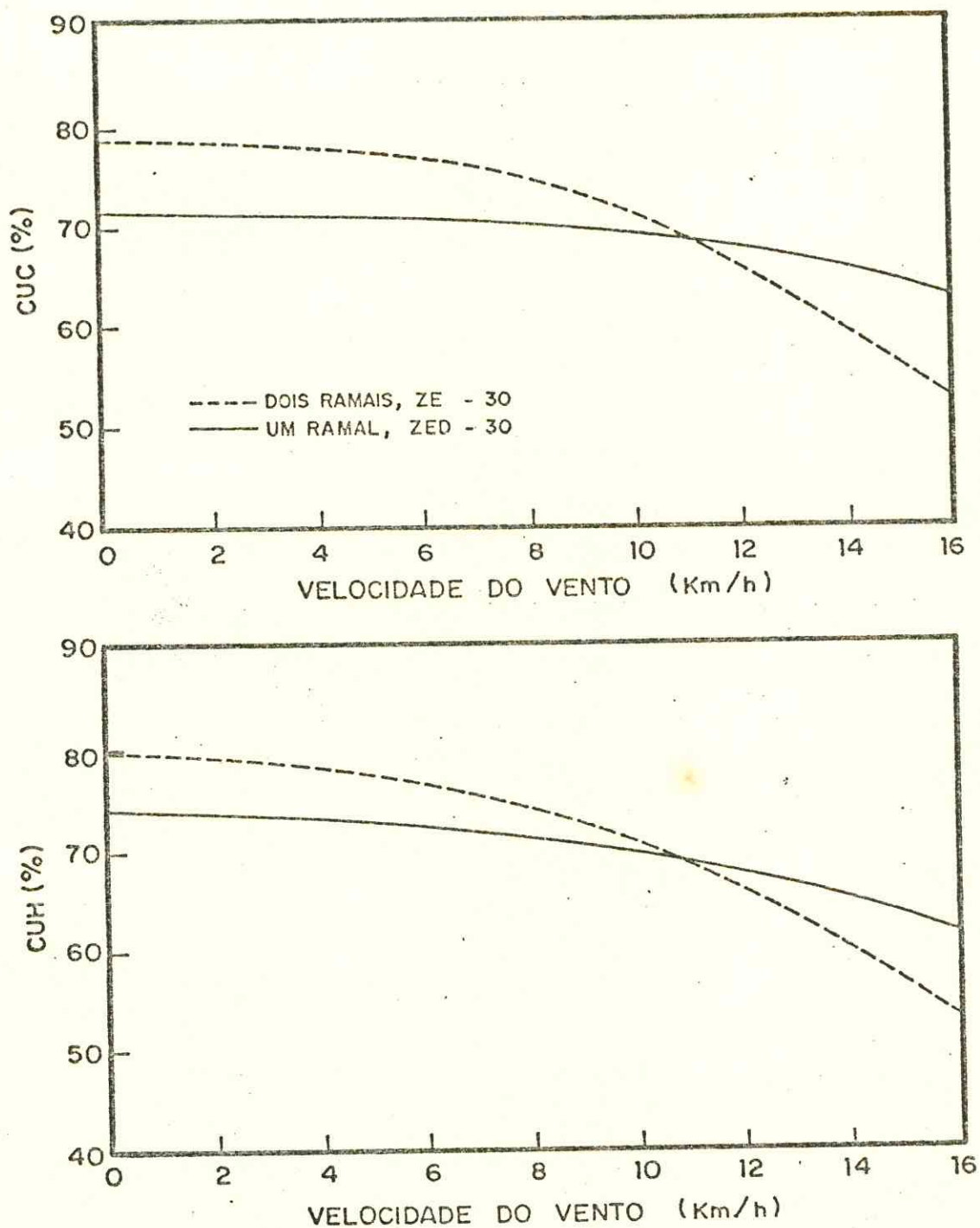


FIGURA 09 - Influência da velocidade do vento nos valores de CUC e CUH para os dois sistemas de irrigação por aspersão estudados.

Pode-se observar, pela FIGURA 09, que a relação entre a uniformidade de distribuição e a velocidade do vento é inversa, ou seja, para valores crescentes de velocidade de vento a uniformidade de distribuição decresce. É possível verificar ainda, que o tipo de aspersor influenciou na sensibilidade da uniformidade de distribuição ao vento. O aspersor ZE-30 (um só bocal, 3,2 atm e 4,26 mm/h), do sistema de dois ramais, proporcionou uma curva com maior declividade do que aquela do aspersor ZED-30 (dois bocais, 2,4 atm e 7,86 mm/h) do sistema de um ramal. Dessa forma, o aspersor de menor taxa de aplicação e maior pressão de serviço proporcionou melhor uniformidade do que o aspersor com maior taxa de aplicação e menor pressão de serviço, para velocidades de vento inferiores a 11 Km/h. Entretanto, o oposto ocorreu para ventos superiores a 11 Km/h.

Além da velocidade, a direção do vento também pode afetar a eficiência e a uniformidade da aspersão. No entanto, o efeito da direção do vento sobre os parâmetros de performance da irrigação por aspersão torna-se negligível quando o espaçamento é quadrado, conforme explicou SOLOMON (1978 e 1985), citado por VORIES & von BERNUTH (1985).

De fato, já que o espaçamento usado neste estudo foi de 18 x 18 m, comparando-se os dados das TABELAS 05 e 06, pode-se verificar que para os testes com valores iguais ou semelhantes de velocidade de vento, a direção do mesmo não alterou praticamente os valores dos parâmetros de performance, ou seja, as diferenças foram inferiores a 2%.

Em geral, a orientação comumente recomendada para

os sistemas de irrigação por aspersão é que o menor espaçamento seja perpendicular à direção dos ventos predominantes. Contudo, alguns autores como por exemplo VORIES e von BERNUTH (1985), com base em seus resultados, recomendaram o contrário, isto é, que o maior espaçamento seja perpendicular à direção dos ventos predominantes, mas enfatizaram a necessidade de um melhor entendimento do efeito do vento sobre a performance dos sistemas de irrigação por aspersão.

O presente estudo foi realizado em condições de campo, de forma que, em todos os testes, os dois sistemas operaram sob condições reais de vento. Na TABELA 07 são apresentados os registros de velocidade e direção do vento para cada teste, para os dois sistemas.

Pode-se observar (TABELA 07) que somente para dois testes (a segunda repetição dos dois horários do sistema da área 02) a direção se manteve constante para os cinco registros (SO para o horário I, e NE, para o horário II), já para os demais testes houve alguma variação da direção do vento.

4.3 - Comparação dos 2 Sistemas.

Para comparar os dois sistemas de irrigação por aspersão considerados neste estudo, faz-se necessária nova análise das TABELAS 04 e 05, bem como da TABELA 06.

De acordo com a TABELA 04, observa-se que os valores de eficiência de armazenamento, Es, obtidos no horário

TABELA 07 - Valores de velocidade e direção do vento ocorridos durante os testes.

Área	Horário	Teste	Velocidade do vento (Km/h)					Direção do vento					
			Intervalo de tempo (min)					Instante do teste (min)					
			0-15	15-30	30-45	45-60	Média	0	15	30	45	60	Moda
01	I	1	3,6	7,2	8,8	8,8	7,1	NE	NE	L	L	NE	NE
		2	5,6	8,8	9,6	12,4	9,1	L	L	L	L	SE	L
	II	1	10,8	10,4	11,6	12,8	11,4	NE	NE	L	L	L	L
		2	13,2	16,4	16,0	16,8	15,6	NE	NE	L	L	L	L
02	I	1	9,6	11,2	11,2	10,4	10,6	SE	SE	SE	L	SE	SE
		2	5,6	3,2	1,2	0	2,5	SO	SO	SO	SO	SO	SO
	II	1	11,6	10,8	11,2	10,0	10,8	L	NE	L	L	L	L
		2	9,2	10,4	10,0	8,0	9,4	NE	NE	NE	NE	NE	NE

matutino, foram mais elevados (80,7 a 89,3%) que no vespertino (56,6 a 77,3%), devido às melhores condições de distribuição de água ocorridas pela manhã, diminuindo o volume de déficit. Estes valores de Es, para a manhã e tarde, enquadram-se nas classes excelente e satisfatória, respectivamente, na classificação de HART et al. (1979). Entretanto, os valores de eficiência de aplicação, Ea, do horário matutino (86,1 a 94,5%) foram ligeiramente inferiores aos do horário vespertino (87,9 a 99,3%) e, segundo HART et al. (1979), os dois grupos de valores são considerados excelentes.

Pelos dados da TABELA 06, já discutidos anteriormente, verifica-se que o horário da manhã proporcionou coeficientes de uniformidade entre 69,4 e 77,6%, e que no horário da tarde a variação foi de 51,0 a 70,5%. Assim, pela classificação de HART et al. (1979), estes valores estão nas classes satisfatória e insatisfatória, respectivamente.

Desta forma, para o sistema de dois ramais móveis, usando a classificação de HART et al. (1979), pode-se concluir que a irrigação do horário matutino está na categoria II, necessitando, portanto, de melhoria na uniformidade de distribuição. Já os testes da tarde enquadram-se na categoria V, o que significa que a irrigação requer melhoria na distribuição e que a lâmina aplicada deve ser aumentada (Es deficiente). Isto leva a concluir que é mais vantajoso irrigar nos horários mais cedo do dia (pela madrugada até às 8 h da manhã), pois o que causou baixa uniformidade de distribuição e redução da lâmina aplicada foi o efeito da velocidade do vento, que também contribuiu para o aumento das

perdas por evaporação e arrastamento pelo vento para fora da área de teste. Porém outros fatores climáticos como a temperatura e umidade relativa do ar devem ter influenciado também.

No caso específico do sistema de um ramal móvel, as condições entre os dois horários estiveram mais semelhantes. Observando a TABELA 05, pode-se comparar os resultados obtidos nos horários matutino e vespertino.

Verifica-se que não houve praticamente diferença para as eficiências entre os dois horários, ou seja, os intervalos $73,4\% < E_a < 86,7\%$ e $87,1\% < E_s < 95,0\%$ (para o horário matutino, 7-8 h), diferem muito pouco dos intervalos abrangidos por estes mesmos parâmetros no horário vespertino (14-15 h) que foram $77,1\% < E_a < 85,5\%$ e $83,1\% < E_s < 89,3\%$. Esta mesma tendência pode ser observada para os valores de coeficiente de uniformidade. A TABELA 06 permite constatar que os valores de coeficiente de uniformidade do horário matutino ($69,5\% < C_U < 73,1\%$) são superiores, porém bastante próximos aos do horário vespertino ($67,8\% < C_U < 69,7\%$). Este fato se deve, provavelmente, à semelhança das condições do vento ocorridas durante a realização dos testes.

Estes valores estão abaixo daqueles considerados mínimos por BAGLEY & CRIDDLE (1955). Mesmo assim, pela classificação de HART et al. (1979), as irrigações representadas pelo teste 1 de ambos os horários deste sistema estão na categoria II, e sendo assim, necessitam de melhoria na uniformidade de distribuição. Por outro lado, as irrigações representadas pelo teste 2 dos dois horários estão na categoria

VI, o que significa que a sua performance requer que a distribuição seja melhorada e que a aplicação total seja diminuída.

A comparação dos dois sistemas permite constatar que o sistema de dois ramais obteve melhor uniformidade de distribuição da água do que o sistema de um ramal, no horário matutino (7-8 h). Já no horário vespertino (14-15 h), o sistema de um ramal alcançou maiores valores. Com relação à eficiência de aplicação e perdas por percolação, o sistema de dois ramais teve melhor desempenho. As causas destas diferenças são, provavelmente, as distintas condições de vento ocorridas em cada sistema e horário, além das diferenças na pressão de operação e taxa de aplicação dos aspersores, pois os demais fatores estiveram constantes.

Pela TABELA 07, já apresentada anteriormente verifica-se que os registros de velocidade e direção do vento foram feitos em intervalos de 15 minutos durante os testes. Constatou-se, no entanto, que para o local de realização dos testes, os intervalos de 15 minutos não permitem uma perfeita avaliação das condições médias de vento durante cada teste, pois neste referido local o vento apresenta-se muito inconstante, com amplas e frequentes variações em sua velocidade e direção.

A fim de gerar resultados mais representativos das irrigações, recomenda-se aumentar o tempo de duração dos testes (igual à metade do tempo de irrigação) e aumentar a frequência de leitura dos valores de velocidade e direção do vento (pelo menos de 10 em 10 minutos).

A influência do tipo de aspersor (1 ou 2 bocais) na performance dos sistemas deveu-se ao fato de o aspersor de 1 bocal (sistema de dois ramais móveis) ter operado com menor taxa de aplicação (4,26 mm/h) e maior pressão (3,2 atm). Dessa forma, sofreu maior influência da velocidade dos ventos (CRIDDLE et al., 1969 e HERMSMEIER, 1972), o que ocorreu em menor magnitude com o aspersor de 2 bocais (sistema de um ramal móvel), pela sua maior taxa de aplicação (7,86 mm/h) e menor pressão de serviço (2,4 atm).

Não houve influência da variação da velocidade de rotação dos aspersores na performance das irrigações, pois todos os aspersores utilizados nos testes foram novos, tendo sua velocidade de rotação constante ao longo do círculo e para cada quadrante (ver TABELA 08).

Também não houve influência da velocidade de rotação dos aspersores lenta ou excessiva, pois todos os aspersores operaram com velocidade num intervalo de 0,9 a 1,9 RPM (TABELA 08), considerado normal para aspersores de baixa revolução (CHRISTIANSEN, 1942; BERNARDO, 1982; e RAWITZ, 1973, citado por OLITTA, 1984).

Considerando estas análises e considerando os demais fatores (mão de obra, energia, quantidade de água, etc) constantes, pois o tamanho e topografia das áreas eram semelhantes, pode-se concluir que os dois sistemas funcionaram tecnicamente iguais e que são indistintos para serem usados para pequenas áreas.

TABELA 08 - Tempo de rotação e velocidade de rotação dos aspersores.

Tipo do aspersor	Sub-área	Horário	Repetição	Nº do Asp.	Tempo de rotação (s)				Circ.	Vel. Rot. (RPM)
					1º Q	2º Q	3º Q	4º Q		
ZE-30	A	I	1	1	11	11	11	13	46	1,3
			2	2	16	16	15	16	63	1,0
		II	1	1	16	15	14	15	60	1,0
			2	2	15	15	14	14	58	1,0
		I	1	1	9	9	10	10	38	1,6
			2	2	14	13	12	13	52	1,2
	B	II	1	1	11	12	11	12	46	1,3
			2	2	17	16	15	16	64	0,9
		I	1	1	15	14	16	15	60	1,0
			2	2	9	9	9	9	36	1,7
		II	1	1	14	13	12	13	52	1,2
			2	2	9	9	8	9	35	1,7
ZED-30	C	I	1	1	13	12	12	13	50	1,2
			2	2	9	8	8	9	34	1,8
		II	1	1	9	8	8	9	34	1,8
	2		2	14	13	13	14	54	1,1	
	II	I	1	1	14	13	13	14	54	1,1
			2	2	8	8	8	8	32	1,9
II		1	1	17	17	16	16	66	0,9	
	2	2	15	14	14	14	57	1,0		
	2	2	11	11	11	11	44	1,4		
ZED-30	C	I	1	1	8	8	9	8	33	1,8
			2	2	15	15	15	16	61	1,0
		II	1	1	13	14	14	15	56	1,1
			2	2	11	12	11	11	44	1,4
2	2	8	9	9	8	34	1,8			

5 - CONCLUSÕES

A partir dos resultados e das discussões apresentadas, pode-se concluir que:

5.1 - Para as condições do presente estudo ($28\% < C_v < 59\%$), os modelos Linear e Normal podem ser indistintamente aplicados para a determinação dos parâmetros de performance da irrigação por aspersão. No entanto, a aplicação do modelo Linear é mais simples e prática;

5.2 - Uma vez que os 12 testes realizados no campo representaram irrigações de padrão médio e bom ($C_v < 62\%$), os coeficientes de uniformidade de CHRISTIANSEN (CUC) e de HART (CUH) podem ser usados indistintamente para descrever a uniformidade dos sistemas de aspersão. Entretanto, o cálculo de CUH é mais rápido e prático;

5.3 - Todos os coeficientes de uniformidade encontrados estão abaixo de 80% e, dessa forma, representam irrigações de baixa uniformidade de distribuição. Sendo assim, faz-se necessária a aplicação de alguma técnica de manejo para a melhoria da distribuição, como por exemplo, alternar as posi-

ções de funcionamento das laterais;

5.4 - O aspersor ZE-30 (3,2 atm e 4,26 mm/h) apresentou maior sensibilidade ao aumento da velocidade do vento (e de Cv) em relação ao aspersor ZED-30 (2,4 atm e 7,86 mm/h);

5.5 - A direção do vento não influenciou, praticamente, nos parâmetros de performance obtidos neste estudo, uma vez que as diferenças entre eles foram inferiores a 2% e que o espaçamento utilizado era quadrado (18 x 18 m);

5.6 - De um modo geral, as irrigações feitas no horário matutino foram de melhor qualidade que aquelas do horário vespertino, devido às condições de velocidade do vento terem sido mais amenas para aquele horário;

5.7 - Para as condições estudadas, pode-se considerar que ambos os sistemas funcionaram tecnicamente iguais e que podem ser indistintamente usados para pequenas áreas, porém, só uma análise técnico-econômica poderá definir qual o melhor sistema a empregar para cada condição específica.

6 - RECOMENDAÇÕES

Com base no que foi discutido, o autor faz as seguintes recomendações:

6.1 - Para as condições do local de realização do presente estudo (FEVC-CCA-UFC), deve-se preferir irrigar por aspersão no horário matutino e, sempre que possível, antes das 8:00 h da manhã, conforme também recomendou RIBEIRO (1982);

6.2 - Além da avaliação técnica, é importante que sejam desenvolvidos, também, estudos econômicos dos sistemas de irrigação por aspersão, aplicados às diversas culturas (principalmente as alimentícias) e condições ambientais;

6.3 - Com o objetivo de agilizar as análises, tanto técnicas quanto econômicas da irrigação por aspersão, é recomendável desenvolver sistemas e programas para computador, de modo a permitir maior eficiência na manipulação dos dados;

6.4 - Aumentar a frequência de registro dos valores de velocidade e direção do vento (pelo menos de 10 em 10 minutos)

durante os testes, para melhor representatividade das condições locais de vento;

6.5 - Para fins de estudo mais aprofundado da influência dos fatores climáticos (vento, temperatura, umidade relativa, etc) e de projeto (pressão, taxa de aplicação, espaçamento, etc) sobre os parâmetros de performance da irrigação por aspersão, é necessário que sejam realizados testes em um maior número de condições climáticas, para cada tipo de condição de projeto e operação dos sistemas de aspersão.

7 - LITERATURA CITADA

- BAGLEY, J. M. & CRIDDLE, W. D. Sprinkler irrigation systems in northern Utah. Utah State Agriculture College. 1955. 30p. (Bull. 387).
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 2ª ed. Viçosa, UFV, Impr. Univ. 1982. 463p.
- CHAUDHRY, F. H. Sprinkler uniformity measures and skewness. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 102(4): 425-433. 1976.
- 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. Chicago, Illinois, American Society of Agricultural Engineers, 1975. 11p. (Paper Nº 75-2573).
- COELHO, M. A. Características de umidade de alguns solos de aluvião: normais, sódicos e sódicos-salinos. Rio de Janeiro, UFRRJ, 1971. 113p. (Dissertação de Mestrado).
- CRIDDLE, W. D.; DAVIS, S.; PAIR, C. H. & SHOCKLEY, D. G. Methods for evaluating irrigation systems. Soil Conservation Service, Agriculture Handbook Nº 82. 1969. 24p.

- CULVER, R. & SINKER, R. F. Rapid assessment sprinkler performance. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 92(1):1-7, 1966.
- DAKER, A. Irrigação e Drenagem. In: _____ A água na agricultura. Rio de Janeiro, Livraria Freitas Bastos, v.3, 1984. 6ª ed. 543p.
- DYLLA, A. S. & SHULL, H. Estimating losses from a rotating-boom sprinkler. Transactions of the ASAE, 26(1):123-125, 1983.
- ELLIOT, R. L.; NELSON, J. D.; LOFTIS, J. C. & HART, W. E. Comparison of sprinkler uniformity models. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 106(4): 321-329, 1980.
- 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. 10th ed. Glendora, California, Rain Bird Sprinkler MFG. Corporation, 1971. 43p.
- HALDERMAN, A. D. & FROST, K. R. Sprinkler irrigation in Arizona. Cooperative Extension Service and agricultural Experiment Station, University of Arizona, 1968. (Bull. A-56).
- HART, W. E.; PERI, G. & SKOGERBOE, G. V. Irrigation performance: An evaluation. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 105(3): 275-288, 1979.
- HART, W. E. Topics in irrigation engineering. Colorado

- State University, Ea 738, 1985. 42p.
- HERMSMEIER, L. F. Sprinkler water distribution testing in a desert environment. Transaction of the ASAE, 15(): 436-439, 1972.
- HURD, C. J. Guia para el riego por aspersión. Mexico/Buenos Aires, Centro Regional de Ayuda Tecnica, AID, 1974. 90p.
- KARMEI, D.; SALAZAR, L. J. & WALKER, W. R. Assessing the spatial variability of irrigation water applications. Ada, Oklahoma, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency, 1978. 201p.
- KELLER, J. Sprinkler Irrigation. In: _____ Irrigation. Chapter 11. Agricultural and Irrigation Engineering, Logan, Utah, 1979. 302p.
- KRAUS, J. H. Application efficiency of sprinkler irrigation and its effects on microclimate. Transaction of the ASAE, 9(5): 642-645, 1966.
- MEDEIROS FILHO, J. C. Avaliação de um sistema de irrigação por aspersão em uma área do município de Mossoró-RN. Campina Grande, UFPB, 1983. 77p. (Dissertação de Mestrado).
- OLITTA, A. F. L. Os métodos de irrigação. São Paulo, Nobel, 1984. 267p.
- RIBEIRO, J. M. Avaliação do sistema de irrigação por aspersão através do modelo linear. Fortaleza, UFC, 1982. 89p. (Dissertação de Mestrado).
- SANTOS. G. A. de S. Uso consuntivo da cultura do melão (Cucumis melo L.). Fortaleza, UFC, 1985. 71p. (Disserta

ção de Mestrado).

SCALOPPI, E. J. Eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão. Irrigação e Tecnologia Moderna, Nº 16, Março, 1984.

SEGINER, I. Water losses during sprinkling. Transactions of the ASAE, 14(): 656-659, 1971.

SOLOMON, K. Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results. Transactions of the ASAE, 22(): 1079-1080, 1086. 1979.

STEINER, J. L.; KANEMASU, E. T. & CLARK, R. N. Spray losses and partitioning of water under a center pivot sprinkler system. Transactions of the ASAE, 26(): 1128-1134. 1983.

VORIES, E. D. & von BERNUTH, R. D. Simulation of wind effects on sprinkler uniformity. St. Joseph, Michigan, American Society of Agricultural Engineers, 1985. 41p. (Paper 85-2063).

WALKER, W. R. Explicit sprinkler irrigation uniformity: Efficiency Model. Journal of the Irrigation and Drainage Division, 105(2): 129-136. 1979.

_____. Sprinkler and trickle irrigation. Department of Agricultural and Chemical Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, USA, Fourth Edition, 1979. 175p.

A N E X O 0 1

PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO
COM 2 RAMAIS MÓVEIS EM "Z"

PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO
COM 2 RAMAIS MÓVEIS EM "Z"

Informações utilizadas

- Croqui: 01
- Localização: FEVC - Pentecoste - CE
- Área: 11.664 m²
- Topografia: Plana
- Textura do Solo: Franca
- Capacidade de Campo: 34,8% (volum.)
- Ponto de Murchamento: 15,6% (volum.)
- Densidade do Solo: 1,56 g/cm³
- Taxa de Infiltração Básica: 10,0 mm/h
- Cultura: Cunhã
- ETR: 4,5 mm/h
- Profundidade Efetiva: 40 cm
- Fator de Consumo: 0,5
- Eficiência de Aplicação: 80%
- Altura da Haste: 1,00 m
- Período Diário de Operação: 8 h

Informações obtidas

- (01) Lâmina líquida a ser aplicada (yrr) = 38,4 mm
- (02) Lâmina bruta a ser aplicada (Zb) = 48 mm
- (03) Turno de rega (Tr) = 8,5 dias
- (04) Período de irrigação por turno de rega (Pti) = 68 h
- (05) Volume d'água requerido por irrigação (Vi) = 559,872 m³
- (06) Vazão requerida (Qr) = 8,233 m³/h
- (07) Intensidade média de aplicação (Ia) = 4,235 mm/h
- (08) Vazão do aspersor (q) = 1,372 m³/h
- (09) Aspersor escolhido
- ZE-30
 - Bocais: 4,5 mm
 - Pressão de serviço: 3,5 atm
 - Raio de alcance: 14,75 m
 - Vazão: 1,44 m³/h
 - Espaçamento: 18 x 18 m
 - Intensidade de aplicação: 4,44 mm/h
- (10) Pressão de serviço ajustada (ho) = 3,2 atm
- (11) Período de aplicação em cada posição (Pa) = 11,334 h
- (12) Comprimento das linhas laterais (Ll):
- Ll₁ = 48 m
 - Ll₂ = 42 m
- (13) Vazão derivada às linhas laterais (Ql) = 4,116 m³/h

- (14) Perda de carga na linha lateral (h_f) = 0,049 m
- (15) Perda de carga admissível na linha lateral
(h_{fa}) = 6,564 m
- (16) Pressão no ponto de derivação (h_i) = 33,860 m
- (17) Pressão no primeiro aspersor (h_1) = 33,837 m
- (18) Pressão no último aspersor (h_n) = 33,811 m
- (19) Operação das laterais nas posições extremas
- a) Perda de carga na linha principal (h_{fLp}) = 0,174 m
 - b) Pressão na primeira derivação (h_{pd}) = 34,034 m
- (20) Operação das linhas laterais no ponto intermediário da principal
- a) Perda de carga até 3ª derivação (h_{f_3}) = 0,231 m
 - b) Perda de carga entre a 3ª e 4ª derivação
($h_{f_{3-4}}$) = 0,035 m
 - c) Pressão na 3ª derivação (h_{td}) = 34,126 m
- (21) Comprimento da linha de suprimento (L_s) = 20 m
- (22) Perda de carga da primeira derivação até a bomba
(h_{fLs}) = 0,128 m
- (23) Altura manométrica (H_{man}) = 35,794 m
- (24) Bomba escolhida: KSB ETA 50-33/2, 1710 RPM
- (25) Motor escolhido: Yanmar NSB 75 (Diesel)

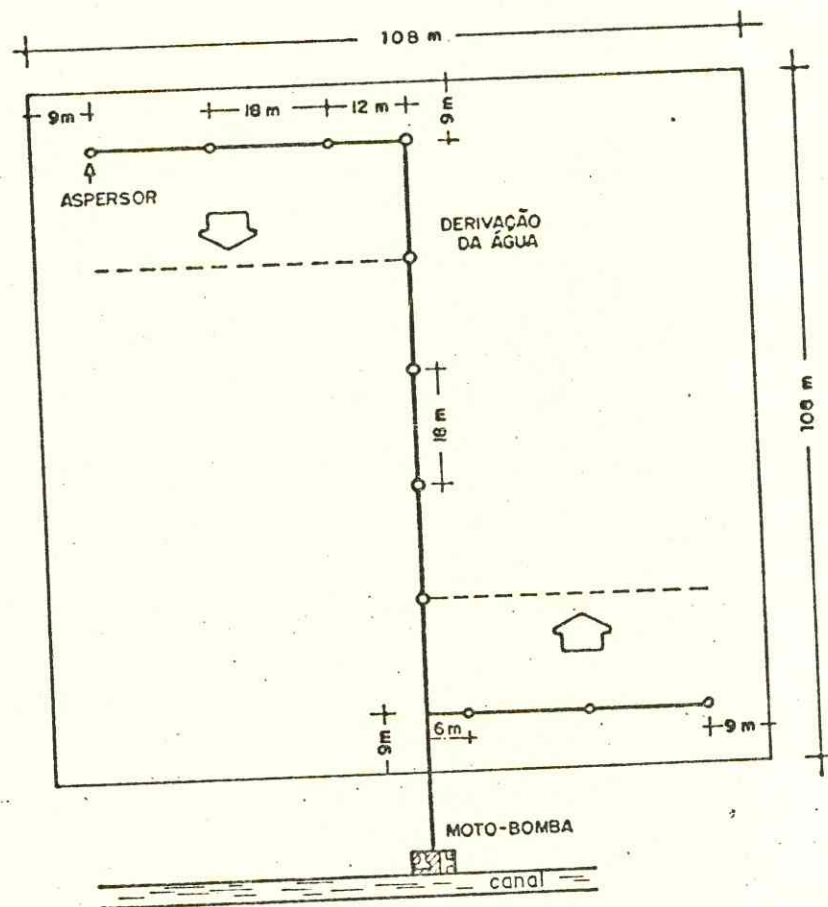


FIGURA 10 - Croqui da área 01.

A N E X O 0 2

PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO
COM 1 RAMAL MÓVEL EM "L"

PROJETO DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO
COM 1 RAMAL MÓVEL EM "L"

Informações utilizadas

- Croqui: 02
- Localização: FEVC - Pentecoste - CE
- Área: 10.692 m²
- Topografia: Plana
- Textura do Solo: Franca
- Capacidade de Campo: 34,8% (volum.)
- Ponto de Murchamento: 15,6% (volum.)
- Densidade de Solo: 1,56 g/cm³
- Taxa de Infiltração Básica: 10,0 mm/h
- Cultura: Cunchã
- ETR: 4,5 mm/h
- Profundidade Efetiva: 40 cm
- Fator de Consumo: 0,5
- Eficiência de Aplicação: 80%
- Altura da Haste: 1,00 m
- Período Diário de Operação: 8 h

Informações obtidas

- (01) Lâmina líquida a ser aplicada (y_{rr}) = 38,4 mm
- (02) Lâmina bruta a ser aplicada (Z_b) = 48 mm
- (03) Turno de rega (T_r) = 8,5 dias
- (04) Período de irrigação por turno de rega (P_{ti}) = 68 h
- (05) Volume d'água requerido por irrigação (V_i) = 513,216 m³
- (06) Vazão requerida (Q_r) = 7,547 m³/h
- (07) Intensidade média de aplicação (I_a) = 7,764 mm/h
- (08) Vazão do aspersor (q) = 2,516 m³/h
- (09) Aspersor escolhido
 - ZED-30
 - Bocais: 4,5 x 4,8 mm
 - Pressão de serviço: 2,5 atm
 - Raio de alcance: 14,7 m
 - Vazão: 2,60 m³/h
 - Espaçamento: 18 x 18 m
 - Intensidade de aplicação: 8,03 mm/h
- (10) Pressão de serviço ajustada (h_o) = 2,4 atm
- (11) Período de aplicação em cada posição (P_a) = 6,182 h
- (12) Comprimento da linha lateral (L_l) = 48 m
- (13) Vazão derivada à linha lateral (Q_l) = 7,548 m³/h
- (14) Perda de carga na linha lateral (h_f) = 0,139 m
- (15) Perda de carga admissível na linha lateral

- (hfa) = 4,837 m
- (16) Pressão no ponto de derivação (h_i) = 25,301 m
- (17) Pressão no primeiro aspersor (h_1) = 25,235 m
- (18) Pressão no último aspersor (h_n) = 25,162 m
- (19) Operação da lateral na última posição
- a) Perda de carga na linha principal ($hfLp$) = 0,989 m
 - b) Pressão na primeira derivação (hpd) = 26,290 m
- (20) Operação da linha lateral no ponto intermediário da principal
- a) Perda de carga na linha principal até a derivação intermediária ($hfLpi$) = 0,495 m
 - b) Pressão no ponto de derivação intermediário (hdi) = 25,796 m
- (21) Comprimento da linha de suprimento (L_s) = 20 m
- (22) Perda de carga da linha de suprimento (hfL_s) = 0,110 m
- (23) Altura manométrica (H_{man}) = 27,742 m
- (24) Bomba escolhida: KSB ETA 50-33/2, 1710 RPM
- (25) Motor escolhido: Yanmar NSB 75 (Diesel)

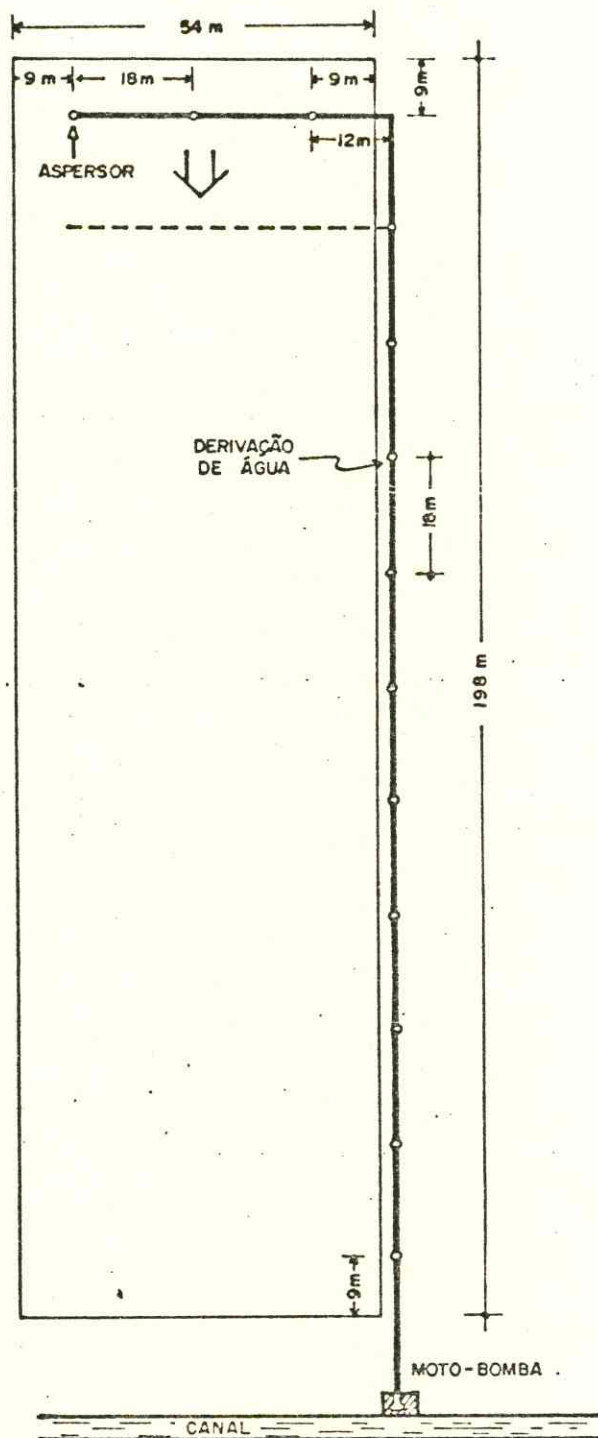


FIGURA 11 - Croqui da área 02.

A N E X O 0 3

DADOS DE CAMPO DOS DOIS SISTEMAS DE
IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO ESTUDADOS

TABELA 09 - Dados coletados na área 01, sub-área A, teste 1, horário I.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONALCARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº 01 SUB-ÁREA A TESTE Nº 1
 DATA 07/12/85 RESPONSÁVEL NOGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 3,6 atm VAZÃO 2,296 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 3,3 atm VAZÃO 1,149 l/s
 ASPEPSORES: MARCA ASSBRASIL MODELO ZE-30
 DIÂM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 mm OBTIDO 4,5 mm
 ESPAÇAMENTO 18 x 18 m ALTURA DA HASTE 1,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 3,2 atm VAZÃO MÉDIA 0,383 l/s

ASP. nº	TEMPO DE ROTAÇÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	11	11	11	13	46	1,30
2	16	16	15	16	63	0,95

HORA: INÍCIO 7:15 TÉRMINO 8:15 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0,5</u>
<u>5,3</u>	<u>2,1</u>	<u>0,6</u>	<u>6,5</u>	<u>10,5</u>	<u>10,5</u>
<u>21,0</u>	<u>12,0</u>	<u>11,0</u>	<u>18,5</u>	<u>23,5</u>	<u>25,0</u>
<u>30,0</u>	<u>26,0</u>	<u>19,5</u>	<u>25,0</u>	<u>20,5</u>	<u>26,0</u>
<u>33,0</u>	<u>29,5</u>	<u>27,5</u>	<u>21,0</u>	<u>30,5</u>	<u>27,0</u>
<u>34,0</u>	<u>32,0</u>	<u>27,0</u>	<u>31,5</u>	<u>31,5</u>	<u>34,5</u>

<u>24,0</u>	<u>20,5</u>	<u>17,0</u>	<u>22,0</u>	<u>30,5</u>	<u>26,0</u>
<u>11,5</u>	<u>10,0</u>	<u>6,2</u>	<u>7,8</u>	<u>14,5</u>	<u>15,5</u>
<u>7,5</u>	<u>3,0</u>	<u>1,2</u>	<u>1,3</u>	<u>3,5</u>	<u>3,3</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 48,5 ml EVAPORADO 1,5 ml

VENTO: (CATAVENTO/ANEMÔMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	NE	NE	L	L	NE
DIST. (hm)	850243	850252	850270	850292	850314

TABELA 10 - Dados coletados na área 01, sub-área A, teste 2, horário I.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONALCARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº 01 SUB-ÁREA A TESTE Nº 2
 DATA 08/12/85 RESPONSÁVEL NOGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 3,6 atm VAZÃO 2,296 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 3,3 atm VAZÃO 1,149 l/s
 ASPERSORES: MARCA ASBRASIL MODELO ZE-30
 DIÂM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 mm OBTIDO 4,6 mm
 ESPAÇAMENTO 18 x 18 m ALTURA DA HASTE 1,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 3,2 atm VAZÃO MÉDIA 0,383 l/s

ASP. nº	TEMPO DE ROTAÇÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	16	15	14	15	60	1,00
2	15	15	14	14	58	1,03

HORA: INÍCIO 7:15 TÉRMINO 8:15 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0,5</u>	<u>0</u>	<u>2,0</u>	<u>3,1</u>	<u>2,2</u>
<u>13,0</u>	<u>2,4</u>	<u>6,5</u>	<u>14,5</u>	<u>19,0</u>	<u>19,0</u>
<u>21,5</u>	<u>15,0</u>	<u>17,5</u>	<u>20,0</u>	<u>21,5</u>	<u>24,0</u>
<u>29,0</u>	<u>27,5</u>	<u>26,0</u>	<u>23,5</u>	<u>18,5</u>	<u>20,5</u>
<u>34,5</u>	<u>33,5</u>	<u>31,0</u>	<u>23,0</u>	<u>21,0</u>	<u>26,5</u>
<u>35,0</u>	<u>31,0</u>	<u>26,5</u>	<u>33,0</u>	<u>31,5</u>	<u>45,0</u>

<u>27,0</u>	<u>16,5</u>	<u>14,5</u>	<u>24,5</u>	<u>32,0</u>	<u>38,5</u>
<u>15,0</u>	<u>8,0</u>	<u>4,1</u>	<u>11,0</u>	<u>22,5</u>	<u>21,0</u>
<u>2,7</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1,2</u>	<u>6,6</u>	<u>8,0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>5,8</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 48 ml EVAPORADO 2 ml

VENTO: (CATAVENTO/ANEMÔMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>L</u>	<u>SE</u>
DIST. (hm)	<u>851525</u>	<u>851539</u>	<u>851561</u>	<u>851585</u>	<u>851616</u>

TABELA 11 - Dados coletados na área 01, sub-área A, teste 1, horário II.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº 01 SUB-ÁREA A TESTE Nº 1
 DATA 08/12/85 RESPONSÁVEL NOGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 3,6 atm VAZÃO 2,296 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 3,3 atm VAZÃO 1,149 l/s
 ASPERSORES: MARCA ASBRASIL MODELO ZE-30
 DIÂM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 mm OBTIDO 4,6 mm
 ESPAÇAMENTO 18 x 18 m ALTURA DA HASTE 1,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 3,2 atm VAZÃO MÉDIA 0,383 l/s

ASP. nº	TEMPO DE ROTAÇÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	9	9	10	10	38	1,58
2	14	13	12	13	52	1,15

HORA: INÍCIO 14:00 TÉRMINO 15:00 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
5,7	0	1,3	8,5	14,0	6,0
17,5	9,0	12,0	16,0	18,0	19,0
26,0	24,5	20,5	20,0	22,5	22,5
39,0	33,0	21,5	20,5	21,0	25,0
38,5	35,0	21,0	23,5	27,5	30,5

21,0	14,0	9,0	20,5	30,0	23,5
4,0	3,5	1,2	5,0	16,0	14,0
0	0	0	0,5	3,2	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 44 ml EVAPORADO 6 ml

VENIO: (CATAVENTO/ANEMÔMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	NE	NE	L	L	L
DIST. (hm)	852204	852231	852257	852286	852318

TABELA 12 - Dados coletados na área 01, sub-área A, teste 2, horário II.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPIÇÃO CONVENCIONALCARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº 01 SUB-ÁREA A TESTE Nº 2
 DATA 09/12/85 RESPONSÁVEL NOGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 3,6 atm VAZÃO 2,296 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 3,3 atm VAZÃO 1,149 l/s
 ASPERSORES: MARCA ASBRASIL MODELO ZE-30
 DIÂM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 mm OBTIDO 4,6 mm
 ESPAÇAMENTO 1,8 x 1,8 m ALTURA DA HASTE 1,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 3,2 atm VAZÃO MÉDIA 0,383 atm

ASP. nº	TEMPO DE ROTACÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	11	12	11	12	46	1,30
2	17	16	15	16	64	0,94

HORA: INÍCIO 14:00 TÉRMINO 15:00 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>5,6</u>	<u>0</u>	<u>1,3</u>	<u>5,6</u>	<u>12,0</u>	<u>10,0</u>
<u>15,0</u>	<u>3,9</u>	<u>6,6</u>	<u>16,0</u>	<u>21,5</u>	<u>15,5</u>
<u>26,0</u>	<u>14,0</u>	<u>18,5</u>	<u>27,0</u>	<u>24,5</u>	<u>36,5</u>
<u>40,5</u>	<u>22,0</u>	<u>20,5</u>	<u>36,0</u>	<u>34,0</u>	<u>37,0</u>
<u>25,5</u>	<u>16,0</u>	<u>15,5</u>	<u>32,5</u>	<u>36,5</u>	<u>31,0</u>

<u>10,0</u>	<u>2,2</u>	<u>3,1</u>	<u>16,0</u>	<u>34,0</u>	<u>38,0</u>
<u>0,5</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>1,3</u>	<u>9,0</u>	<u>13,0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>	<u>0</u>

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 44 ml EVAPORADO 6 ml

VENIO: (CATAVENTO/ANEMOMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	NE	NE	L	L	L
DIST. (hm)	853660	853693	853734	853774	853816

TABELA 13 - Dados coletados na área 01, sub-área B, teste 1, horário I.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº 01 SUB-ÁREA B TESTE Nº 1
 DATA 07/12/85 RESPONSÁVEL NOGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 3,6 atm VAZÃO 2,296 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 3,3 atm VAZÃO 1,149 l/s
 ASPERSORES: MARCA ASBRASIL MODELO 7E-30
 DIÂM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 mm OBJETIVO 4,6 mm
 ESPAÇAMENTO 18 x 18 m ALTURA DA HASTE 1,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 3,2 atm VAZÃO MÉDIA 0,383 l/s

ASP. nº	TEMPO DE ROTACÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	15	14	16	15	60	1,00
2	9	9	9	9	36	1,67

HORA: INÍCIO 7:15 TÉRMINO 8:15 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
8,6	1,0	0	1,0	3,0	5,1
20,5	12,5	4,8	11,5	18,5	22,0
23,5	23,0	21,0	23,0	26,0	26,0
27,0	30,0	29,0	27,0	28,5	33,0
30,5	27,0	25,0	27,5	37,5	37,0

X

X

26,0	20,5	15,5	22,0	39,5	45,0
15,5	8,3	4,5	6,2	14,5	22,5
4,5	1,3	0	0,5	2,4	5,1
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 48,5 ml EVAPORADO 1,5 ml

VENTO: (CATAVENIO/ANEMÓMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	NE	NE	L	L	NE
DIST. (hm)	850243	850252	850270	850292	850314

TABELA 14 - Dados coletados na área 01, sub-área B, teste 2, horário I.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERÇÃO CONVENCIONAL

CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº 01 SUB-ÁREA B TESTE Nº 2
 DATA 08/12/85 RESPONSÁVEL NOGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 3,6 atm VAZÃO 2,296 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 3,3 atm VAZÃO 1,149 l/s
 ASPERSORES: MARCA ASBRASIL MODELO ZE-30
 DIÂM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 mm OBTIDO 4,6 mm
 ESPAÇAMENTO 1,8 x 1,8 m ALTURA DA HASTE 1,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 3,2 atm VAZÃO MÉDIA 0,383 l/s

ASP. nº	TEMPO DE ROTAÇÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	14	13	12	13	52	1,15
2	9	9	8	9	35	1,71

HORA: INÍCIO 7:15 TÉRMINO 8:15 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

0	0	0	0	0	0
0,6	0	0	0	1,0	1,4
13,0	4,3	1,0	3,7	14,5	19,0
25,5	17,5	5,8	19,0	29,0	28,0
33,0	26,0	19,0	24,5	24,5	23,5
35,0	34,0	28,5	27,0	33,0	26,5
37,5	37,5	23,0	27,0	35,5	31,0

29,0	21,0	13,5	18,5	33,5	36,0
14,0	6,6	3,2	4,4	14,0	17,0
2,0	0	0	0,5	2,2	4,1
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 48 ml EVAPORADO 2 ml

VENIO: (CATAVENTO/ANEMÔMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	L	L	L	L	SE
DIST. (hm)	851525	851539	851561	851585	851614

TABELA 15 - Dados coletados na área 01, sub-área B, teste 1, horário II.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº 01 SUB-ÁREA B TESTE Nº 1
 DATA 08/12/85 RESPONSÁVEL NOGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 3,6 atm VAZÃO 2,296 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 3,3 atm VAZÃO 1,149 l/s
 ASPERSORES: MARCA ASBRASIL MODELO ZE-30
 DIÂM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 mm OBTIDO 4,6 mm
 ESPAÇAMENTO 18 x 18 m ALTURA DA HASTE 1,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 3,2 atm VAZÃO MÉDIA 0,383 l/s

ASP. nº	TEMPO DE ROTAÇÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	13	12	12	13	50	1,20
2	9	8	8	9	34	1,76

HORA: INÍCIO 14:00 TÉRMINO 15:00 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
5,3	1,3	0	1,3	5,0	9,0
20,0	10,0	5,0	17,5	20,5	22,0
26,5	20,5	21,0	22,5	26,0	25,0
31,5	29,5	23,0	20,5	24,0	27,5
34,0	27,0	21,0	26,0	30,0	38,0

19,0	11,5	12,0	22,5	30,0	32,5
4,6	1,5	1,2	4,0	14,5	14,5
0	0	0	0	0	0,5
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 44 ml EVAPORADO 6 ml

VENIO: (CATAVENTO/ANEMÓMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	NE	NE	L	L	L
DIST. (hm)	852204	852231	852257	852286	852318

TABELA 16 - Dados coletados na área 01, sub-área B, teste 2, horário II.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº 01 SUB-ÁREA B TESTE Nº 2
 DATA 09/12/85 RESPONSÁVEL NOGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 3,6 atm VAZÃO 2,296 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 3,3 atm VAZÃO 1,149 l/s
 ASPERSORES: MARCA ASBRASIL MODELO ZE-30
 DIÂM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 mm OBTIDO 4,6 mm
 ESPAÇAMENTO 18 x 18 m ALTURA DA HASTE 1,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 3,2 atm VAZÃO MÉDIA 0,383 l/s

ASP. nº	TEMPO DE ROTACÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	14	13	13	14	54	1,11
2	8	8	8	8	32	1,88

HORA: INÍCIO 14:00 TÉRMINO 15:00 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
2,0	1,0	0	1,6	5,8	6,6
12,5	4,1	4,5	13,0	23,0	12,0
22,5	18,0	20,5	16,5	23,5	22,5
28,0	21,0	16,5	26,5	30,5	34,0
24,0	16,5	17,5	27,5	24,5	35,0

13,5	4,3	10,5	23,0	34,5	31,5
1,5	0	1,0	5,5	8,5	9,0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 44 ml EVAPORADO 6 ml

VENIO: (CATAVENTO/ANEMÓMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	VE	NE	L	L	L
DIST. (hm)	853660	853693	853734	853774	853816

TABELA 17 - Dados coletados na área 02, sub-área C, teste 1, horário I.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº 02 SUB-ÁREA C TESTE Nº 1
 DATA 11/12/85 RESPONSÁVEL NOGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 2,8 atm VAZÃO 2,121 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 2,5 atm VAZÃO 2,121 l/s
 ASPERSORES: MARCA ASBRASIL MODELO ZED-30
 DIÂM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 x 4,8 mm OBTIDO 4,6 x 4,8 mm
 ESPAÇAMENTO 18 x 18 m ALTURA DA HASTE 1,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 2,4 atm VAZÃO MÉDIA 0,707 l/s

ASP. nº	TEMPO DE ROTAÇÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	17	17	16	16	66	0,91
2	15	14	14	14	57	1,05

HORA: INÍCIO 7:07 TÉRMINO 8:07 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

0	0	0	0	0	0
2,0	0	0	0	1,3	6,0
41,0	18,5	6,7	7,2	26,0	40,0
65,0	51,0	27,5	26,0	45,0	40,5
57,0	70,0	51,0	44,0	61,0	38,5
49,0	81,0	70,0	56,0	62,0	55,0
67,0	92,0	58,0	49,0	73,0	58,0

X

X

83,0	68,0	26,0	19,0	60,0	59,0
38,0	17,5	0,5	2,0	17,0	33,0
1,5	0	0	0	0	3,7
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 47 ml EVAPORADO 3 ml

VENTO: (CATAVENTO/ANEMÔMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	SE	SE	SE	L	SE
DIST. (hm)	855797	855821	855849	855877	855903

TABELA 18 - Dados coletados na área 02, sub-área C, teste 2, horário I.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

CARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº 02 SUB-ÁREA C TESTE Nº 2
 DATA 14/12/85 RESPONSÁVEL MCGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 2,8 atm VAZÃO 2,121 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 2,5 atm VAZÃO 2,121 l/s
 ASPERSORES: MARCA ASBRASIL MODELO ZED-30
 DIAM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 x 4,8 mm OBTIDO 4,6 x 4,8 mm
 ESPAÇAMENTO 18 x 18 m ALTURA DA HASTE 2,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 2,4 atm VAZÃO MÉDIA 0,707 l/s

ASP. nº	TEMPO DE ROTAÇÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	11	11	11	11	44	1,36
2	8	8	8	8	33	1,82

HORA: INÍCIO 7:17 TÉRMINO 8:17 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0,5	0	0	0	0	1,8
36,0	27,0	13,0	3,2	21,0	28,0
51,0	49,0	50,0	54,0	40,0	44,0
44,5	43,5	50,0	83,0	74,0	42,0
28,5	26,0	51,0	86,0	76,0	33,0

37,0	23,5	50,0	88,0	82,0	42,0
46,0	44,0	56,0	85,0	68,0	51,0
65,0	61,0	54,0	50,0	45,0	54,0
41,0	35,5	17,0	4,5	21,0	33,5
2,1	0	0	0	0	4,0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 48 ml EVAPORADO 2 ml

VENTO: (CATAVENTO/ANEMÓMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	S0	S0	S0	S0	S0
DIST. (km)	860412	860426	860434	860437	860437

TABELA 19 - Dados coletados na área 02, sub-área C, teste 1, horário II.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONAL

CARACTERIZAÇÃO DO DESENHEIRO

ÁREA Nº 02 SUB-ÁREA C TESTE Nº 1
 DATA 10/12/85 RESPONSÁVEL NOGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 2,8 atm VAZÃO 2,121 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 2,5 atm VAZÃO 2,121 l/s
 ASPERSORES: MARCA ASBRASIL MODELO ZED-30
 DIÂM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 x 4,8 mm OBTIDO 4,6 x 4,8 mm
 ESPAÇAMENTO 18 x 18 m ALTURA DA HASTE 1,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 2,4 atm VAZÃO MÉDIA 0,707 l/s

ASP. nº	TEMPO DE ROTAÇÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	15	15	15	16	61	0,98
2	13	14	14	15	56	1,07

HORA: INÍCIO 13:58 TÉRMINO 14:58 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
2,9	0	0	2,7	15,0	14,5
40,0	14,0	16,0	35,5	44,0	44,5
74,0	58,0	42,0	36,0	40,0	43,5
76,0	96,0	70,0	40,5	31,5	30,5
71,0	85,0	53,5	49,0	34,5	40,0

60,0	54,0	41,0	43,0	61,0	46,0
41,0	19,0	8,5	27,5	47,5	53,0
9,0	2,3	0	3,7	14,0	16,5
0	0	0	0	0	1,0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 45 ml EVAPORADO 5 ml

VENTO: (CATAVENTO/ANEMÔMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	L	NE	L	L	L
DIST. (hm)	856522	856551	856578	856606	856631

TABELA 20 - Dados coletados na área 02, sub-área C, teste 2, horário II.

SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO CONVENCIONALCARACTERIZAÇÃO DO DESEMPENHO

ÁREA Nº 02 SUB-ÁREA C TESTE Nº 2
 DATA 14/12/85 RESPONSÁVEL NOGUEIRA
 SISTEMA: PRESSÃO 2,8 atm VAZÃO 2,121 l/s
 LATERAL: PRESSÃO 2,5 atm VAZÃO 2,121 l/s
 ASPERSORES: MARCA ASBRASIL MODELO ZED-30
 DIÂM. BOCAIS: ESPECIF. 4,5 x 4,8 mm OBTIDO 4,6 x 4,8 mm
 ESPAÇAMENTO 18 x 18 m ALTURA DA HASTE 1,0 m
 PRESSÃO MÉDIA 2,4 atm VAZÃO MÉDIA 0,707 l/s

ASP. nº	TEMPO DE ROTACÃO (s)					R P M
	1º Q	2º Q	3º Q	4º Q	circ.	
1	11	12	11	11	44	1,36
2	8	9	9	8	34	1,76

HORA: INÍCIO 13:59 TÉRMINO 14:59 DURAÇÃO 1 h

VOLUMES COLETADOS (cm³):

0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	3,0	2,7
9,4	1,0	10,5	24,0	38,0	39,0
68,0	37,0	43,0	49,0	63,0	64,0
94,0	90,0	58,0	40,0	42,0	55,0
85,0	95,0	53,0	30,5	31,0	45,0

68,0	78,0	62,0	43,0	47,0	52,0
60,0	39,0	38,0	54,0	74,0	75,0
21,0	11,0	7,3	20,0	40,5	45,0
1,6	0	0,8	0	2,9	6,1
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

EVAPORAÇÃO:

VOLUMES: INICIAL 50 ml FINAL 47 ml EVAPORADO 3 ml

VENIO: (CATAVENTO/ANEMÔMETRO)

DADOS LIDOS	INSTANTE (min)				
	0	15	30	45	60
DIREÇÃO	NE	NE	NE	NE	NE
DIST. (hm)	860806	860829	860855	860880	860900

A N E X O 0 4

EXEMPLO DE CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE
PERFORMANCE DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

EXEMPLO DE CÁLCULO DOS PARÂMETROS DE PERFORMANCE
DA IRRIGAÇÃO POR ASPERSÃO

Considerando os dados da tabela de campo da área 01, Sub-área B, Teste nº 1 do Horário I (matutino), o primeiro passo para se obter os parâmetros de performance da Irrigação por Aspersão é calcular o padrão superposto de volumes coletados para o espaçamento de 18 x 18 m (FIGURAS 12 e 13).

O passo seguinte é obter os valores adimensionais das lâminas infiltradas e áreas acumuladas (TABELA 21). Neste caso, por ser mais prático, o valor adimensional das lâminas infiltradas é encontrado direto dos volumes coletados, ou seja:

$$Y_i = \frac{V_i}{\bar{V}}$$

onde: Y_i é a lâmina infiltrada adimensional correspondente ao pluviômetro i ; V_i é o volume (cm^3) coletado no pluviômetro i ; e \bar{V} é o volume médio (cm^3) coletado.

Depois de adimensionalizar os dados, basta aplicar as equações específicas de cada modelo e obter os parâmetros de performance da Irrigação:

a) Aplicação do Modelo Linear:

$$b = 1,238$$

0 26,0	0 20,5	0 15,5	0 22,0	0 39,5	0 45,0
8,6 15,5	1,0 8,3	0 4,5	1,0 6,2	3,0 14,5	5,1 22,5
20,5 4,5	12,5 1,3	4,8 0	11,5 0,5	18,5 2,4	22,0 5,1
23,5 0	23,0 0	21,0 0	23,0 0	26,0 0	26,0 0
27,0 0	30,0 0	29,0 0	27,0 0	28,5 0	33,0 0
30,5 0	27,0 0	25,0 0	27,5 0	37,5 0	37,0 0

FIGURA 12 - Processo de superposição dos volumes coletados, no espaçamento de 18 x 18 m (pluviômetros espaçados de 3 x 3 m).

26,0	20,5	15,5	22,0	39,5	45,0
24,1	9,3	4,5	7,2	17,5	27,6
25,0	13,8	4,8	12,0	20,9	27,1
23,5	23,0	21,0	23,0	26,0	26,0
27,0	30,0	29,0	27,0	28,5	33,0
30,5	27,0	25,0	27,5	37,5	37,0

FIGURA 13 - Padrão superposto obtido, no espaçamento de 18 x 18 m, dos volumes coletados (pluviômetros espaçados de 3 x 3 m).

TABELA 21 - Processo de adimensionalização dos dados: volumes coletados em ordem crescente e áreas acumuladas.

Vol. (cm ³) coletados, Vi	Lâminas adim., Y	Áreas (m ²) acum., Ai	Áreas acum. adim., X
4,5	0,188	9	0,028
4,8	0,200	18	0,056
7,2	0,300	27	0,083
9,3	0,388	36	0,111
12,0	0,500	45	0,139
13,8	0,575	54	0,167
15,5	0,646	63	0,194
17,5	0,729	72	0,222
20,5	0,854	81	0,250
20,9	0,871	90	0,278
21,0	0,875	99	0,306
22,0	0,917	108	0,333
23,0	0,959	117	0,361
23,0	0,959	126	0,389
23,5	0,979	135	0,417
24,1	1,004	144	0,444
25,0	1,042	153	0,472
25,0	1,042	162	0,500
26,0	1,084	171	0,528
26,0	1,084	180	0,556
26,0	1,084	189	0,583
27,0	1,125	198	0,611
27,0	1,125	207	0,639
27,0	1,125	216	0,667
27,1	1,129	225	0,694
27,5	1,146	234	0,822
27,6	1,150	243	0,750
28,5	1,188	252	0,778
29,0	1,209	261	0,806
30,0	1,250	270	0,833
30,5	1,271	279	0,861
33,0	1,375	288	0,889
37,0	1,542	297	0,917
37,5	1,563	306	0,944
39,5	1,646	315	0,972
45,0	1,875	324	1,000

$$a = 0,364$$

$$r^2 = 0,893$$

então

$$Y = 0,364 + 1,238X$$

$$Y_{\max} = 1,619$$

$$Y_{\min} = 0,381$$

como

$$y_{rr} = 38,400 \text{ mm}$$

e

$$\bar{y} = 3,055 \text{ mm/h} \times 11,334 \text{ h} = \underline{\underline{34,625 \text{ mm}}}$$

então

$$Y_r = 1,109$$

caso 2: $1,0 < Y_r \leq Y_{\max}$

$$E_a = 89,5\%$$

$$E_s = 80,7\%$$

$$D_p = 10,5\%$$

b) Aplicação do Modelo Normal:

como

$$Y_{rr} = 38,400 \text{ mm}$$

$$\bar{y} = 34,625 \text{ mm}$$

$$C_v = 0,3832$$

$$Y_r = 1,109$$

então

$$\Delta = -0,109$$

$$Ad = 0,633$$

$$Vd = 0,191$$

e

$$Ea = 91,8\%$$

$$Es = 82,8\%$$

$$Dp = 8,2\%$$

c) Coeficientes de Uniformidade:

$$CUC = 71,9\%$$

$$CUH = 69,4\%$$

A N E X O 0 5

DIAGRAMAS ADIMENSIONAIS ACUMULADOS DA DIS
TRIBUIÇÃO REAL COM OS AJUSTES LINEAR E
NORMAL DAS PRECIPITAÇÕES OBTIDAS NOS 12
TESTES REALIZADOS EM AMBOS OS SISTEMAS

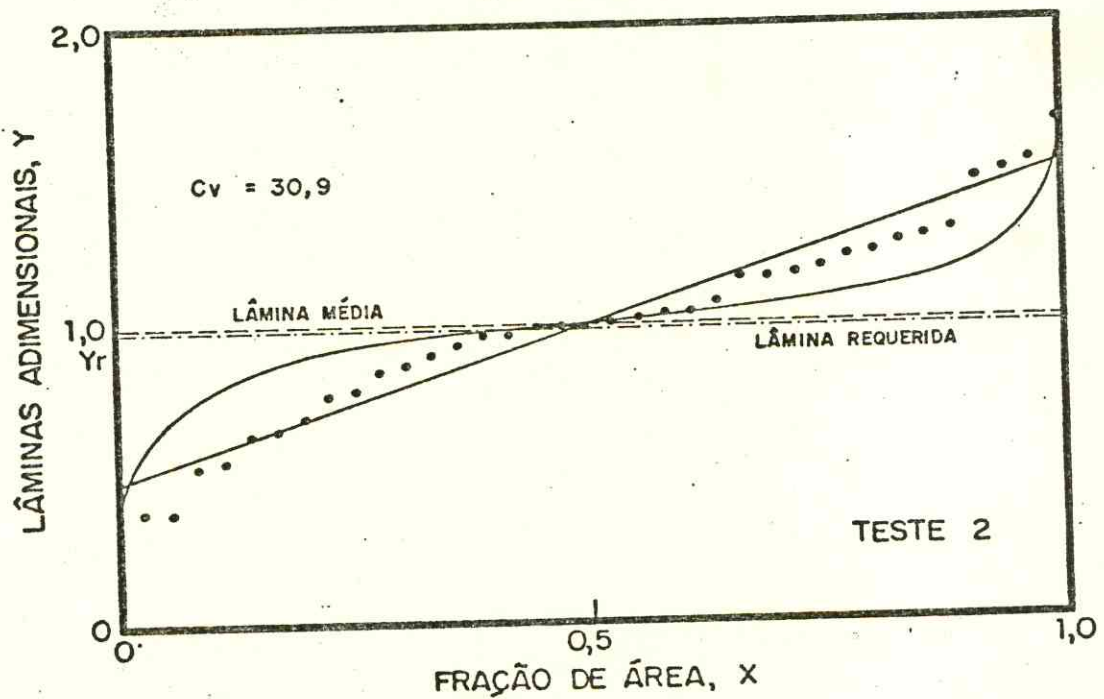
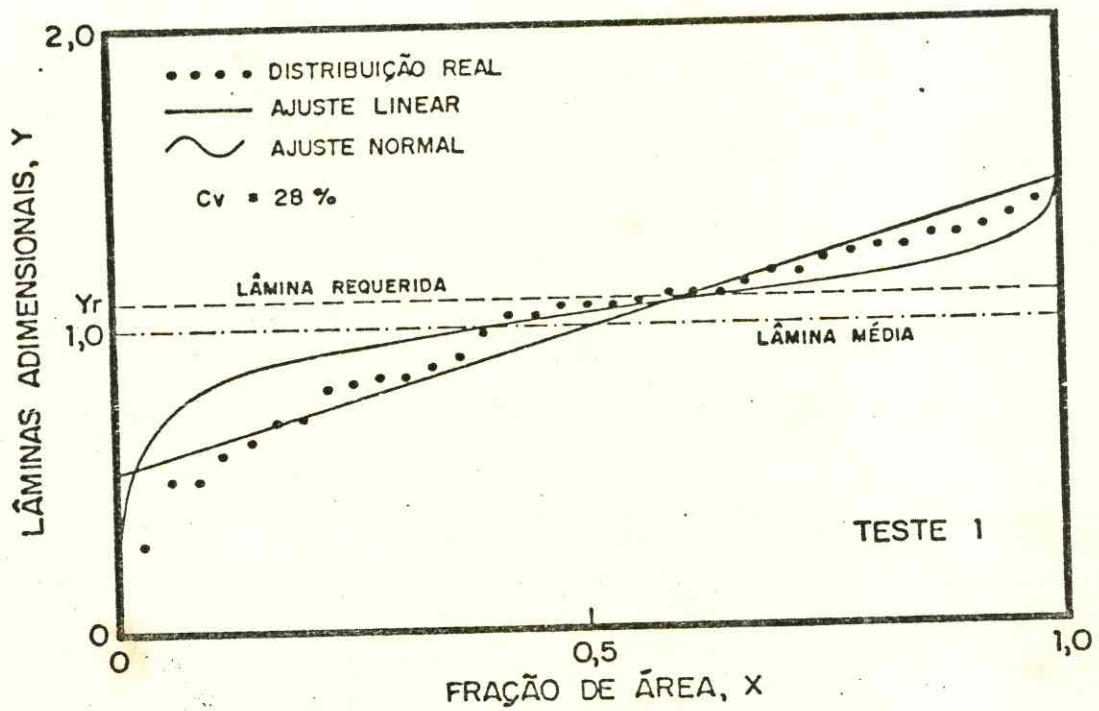


FIGURA 14 - Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, respectivamente, da área 01, sub-área A, para o horário I (7-8 h).

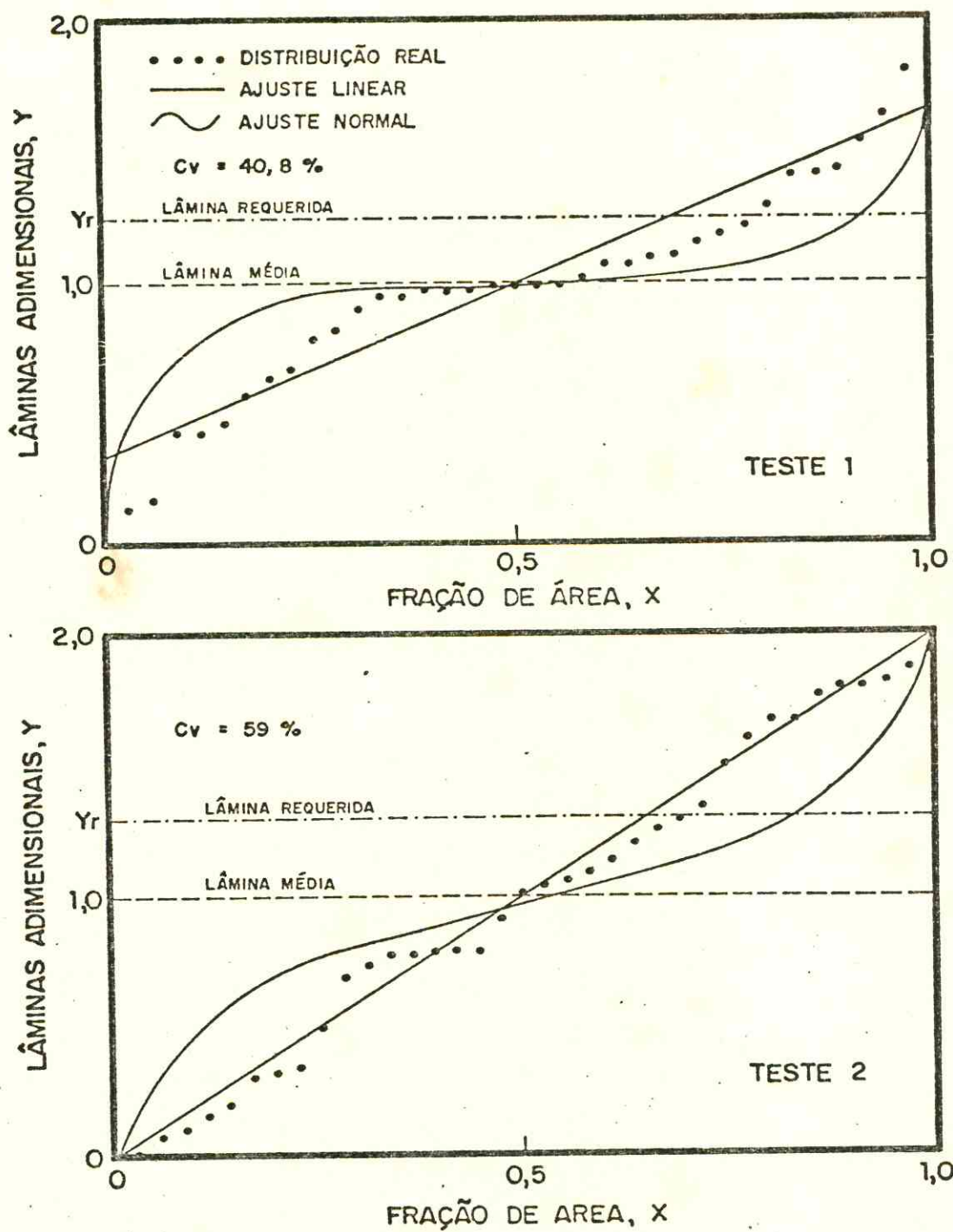


FIGURA 15 - Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, respectivamente, da área 01, sub-área A, para o horário II (14-15 h).

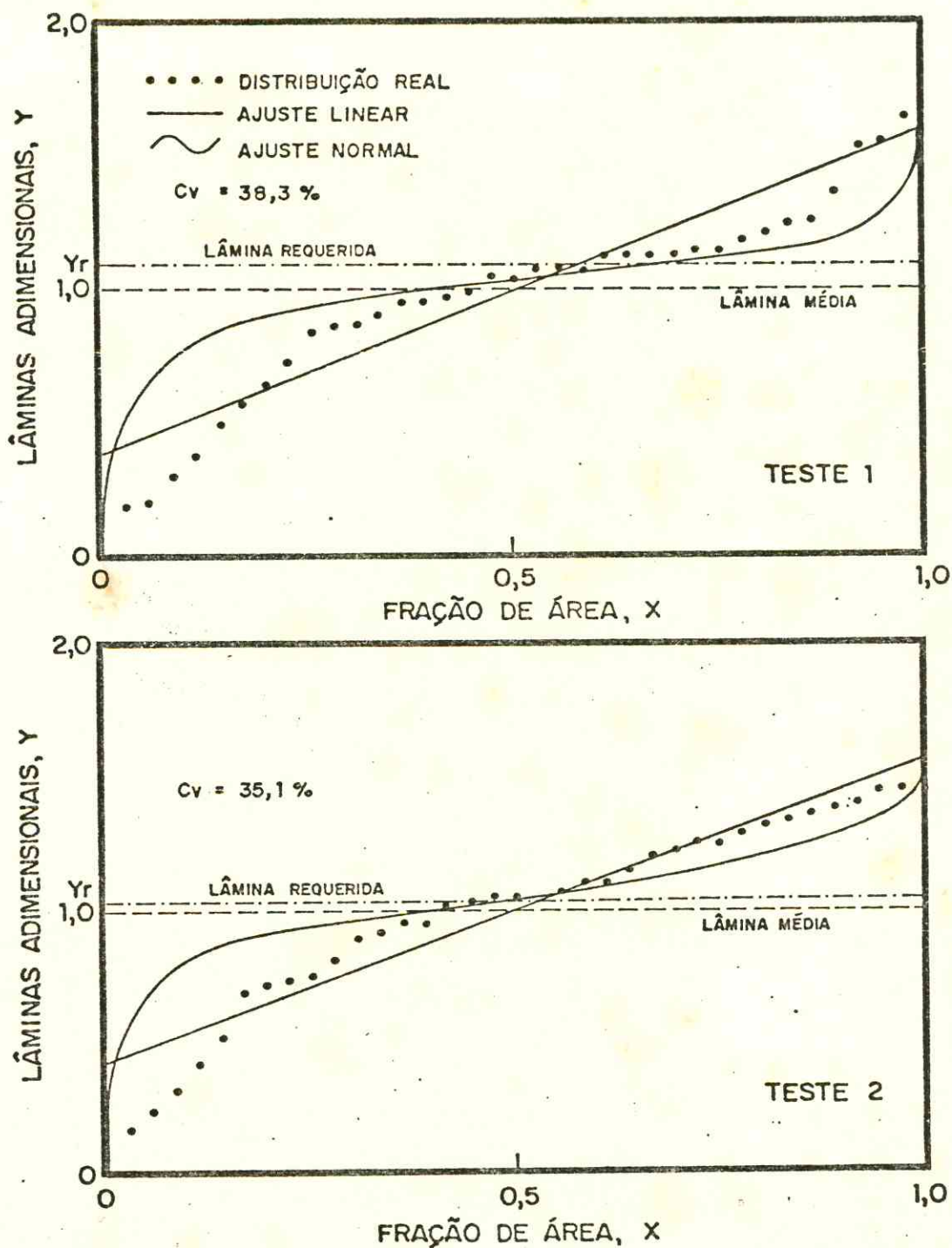


FIGURA 16 - Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, respectivamente, da área 01, sub-área B, para o horário I (7-8 h).

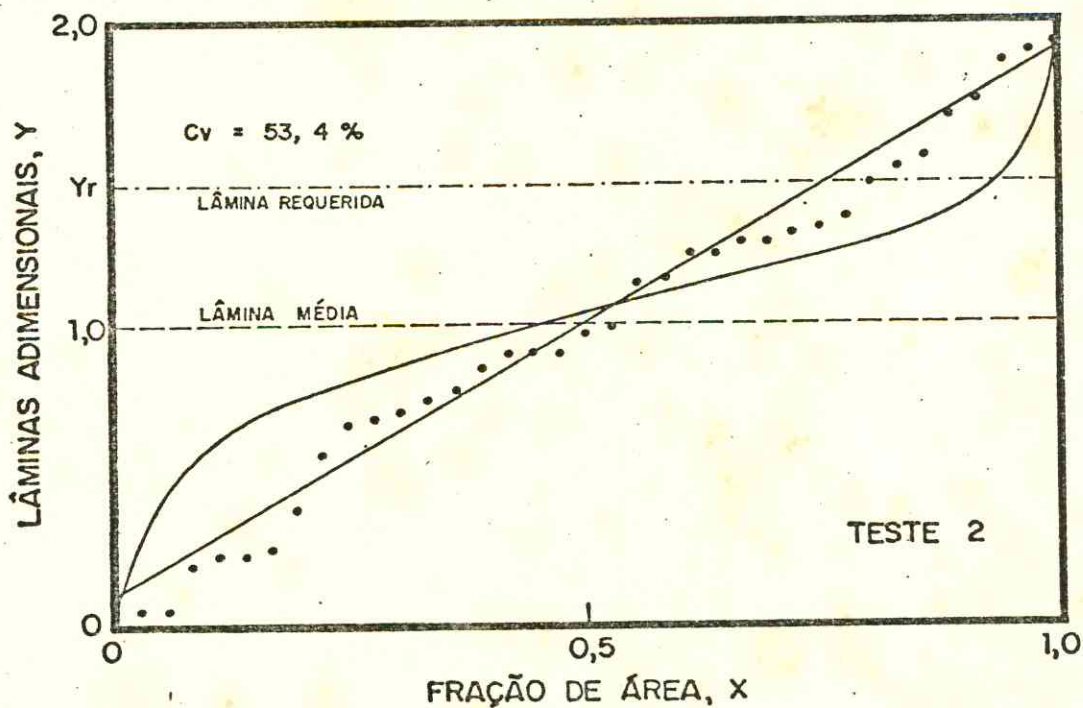
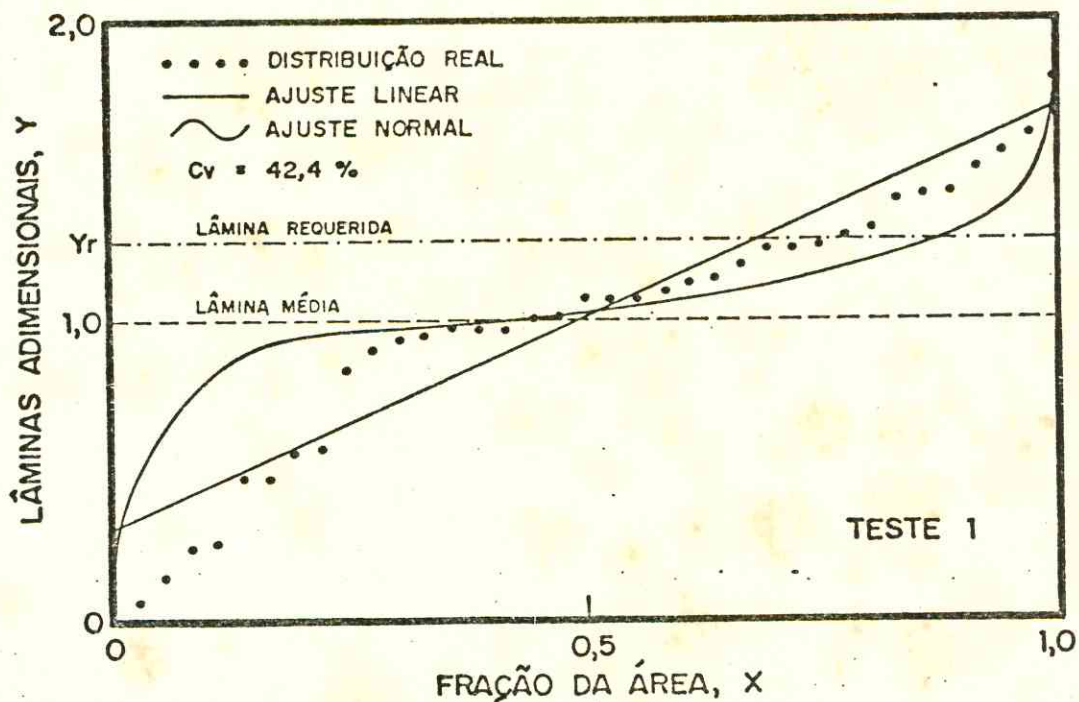


FIGURA 17 - Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, respectivamente, da área 01, sub-área B, para o horário II (14-15 h)

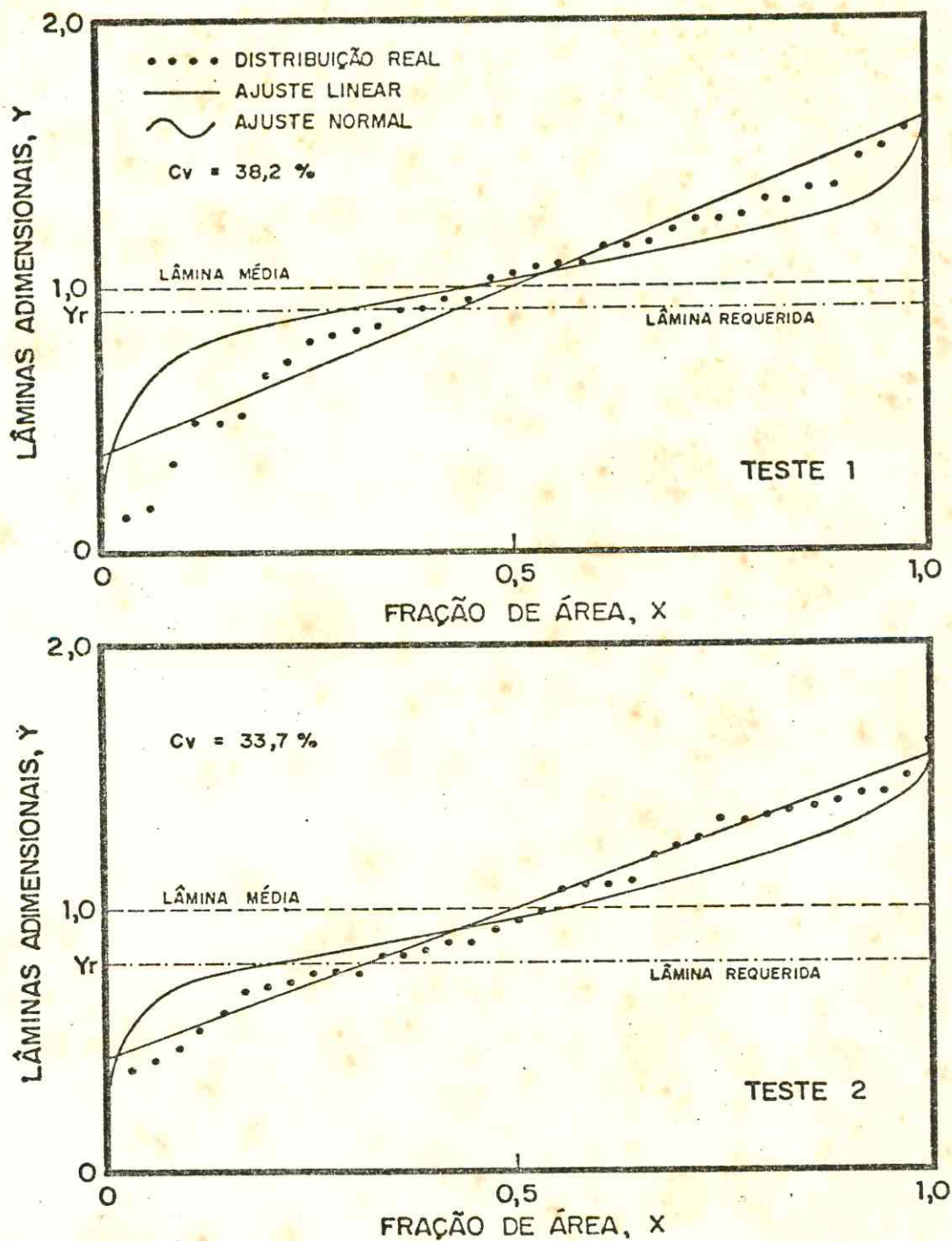


FIGURA 18 - Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, respectivamente, da área 02, sub-área C, para o horário I (7-8 h).

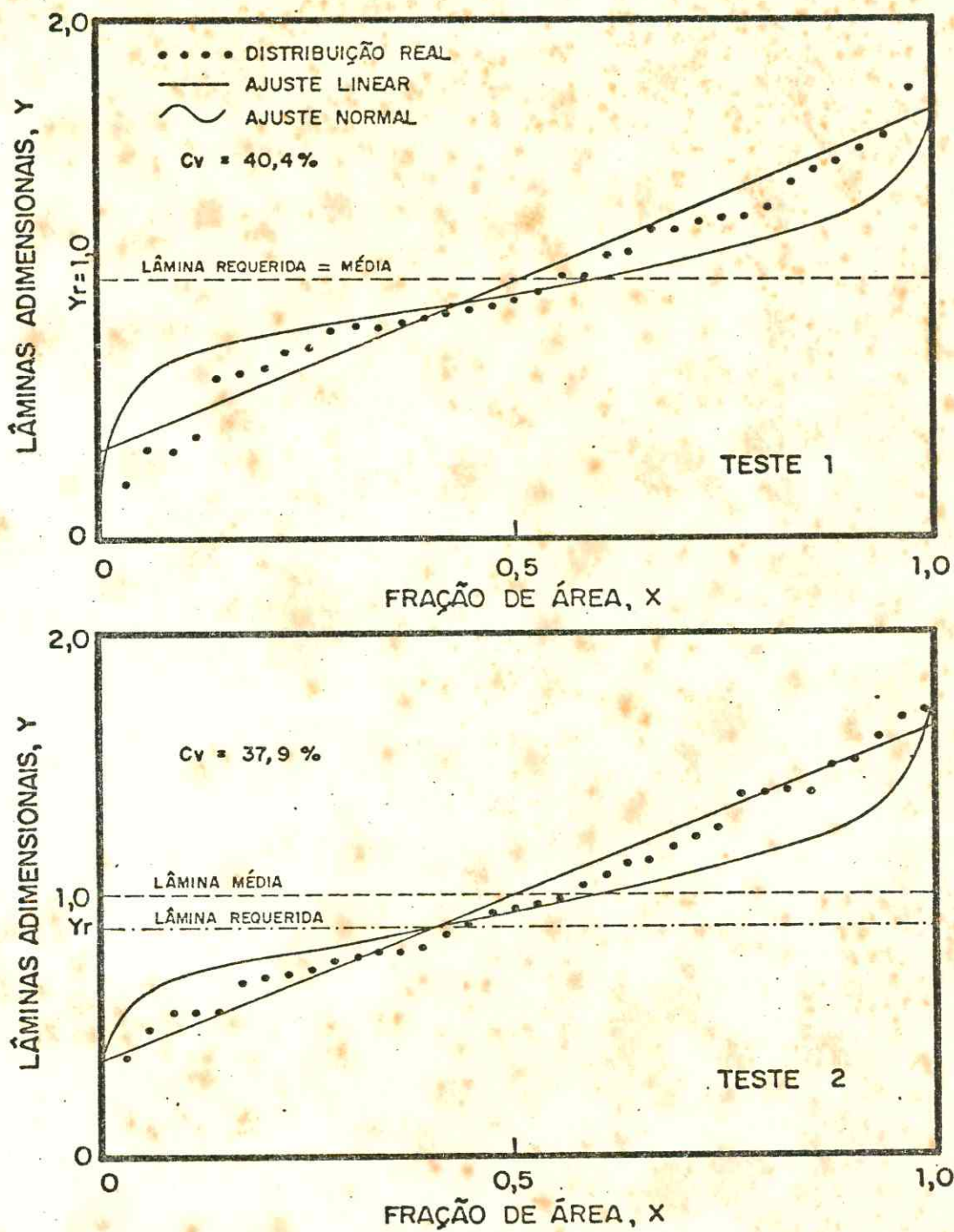


FIGURA 19 - Diagrama esquemático adimensional da distribuição real acumulada, com os ajustes Linear e Normal, para os testes 1 e 2, respectivamente, da área 02, sub-área C, para o horário II (14-15 h).