

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**  
**PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**  
**MESTRADO**

**AVALIAÇÃO EM CAMPO DO DESEMPENHO DE**  
**SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA TIPO**  
**MICROASPERSÃO E GOTEJAMENTO**

**DISSERTAÇÃO**

**ANTÔNIO DE ALMEIDA BARRETO FILHO**

Campina Grande – Paraíba  
Dezembro – 1998

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

AVALIAÇÃO EM CAMPO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE  
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA TIPO MICROASPERSÃO E GOTEJAMENTO

ANTONIO DE ALMEIDA BARRETO FILHO

CAMPINA GRANDE - PB  
DEZEMBRO - 1998

---

**ANTONIO DE ALMEIDA BARRETO FILHO**

**Engenheiro Agrícola**

**AVALIAÇÃO EM CAMPO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE  
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA TIPO MICROASPERSÃO E GOTEJAMENTO**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba, para obtenção do grau de Mestre em Ciências ( M.Sc.). Área de concentração Eng. de irrigação e drenagem.

**Orientador: JOSÉ DANTAS NETO**

**Co-Orientadora: VERA LÚCIA ANTUNES DE LIMA**

**CAMPINA GRANDE - PB  
DEZEMBRO - 1998**



B273a Barreto Filho, Antonio de Almeida.  
Avaliação em campo do desempenho de sistemas de irrigação localizada tipo microaspersão e gotejamento / Antonio de Almeida Barreto Filho. - Campina Grande, 1998. 69 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 1998.  
"Orientação : Prof. Dr. José Dantas Neto, Profa. Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima".  
Referências.

1. Irrigação - Sousa -PB. 2. Microaspersão. 3. Gotejamento. 4. Irrigação Localizada - Sistemas. 5. Dissertação - Engenharia Agrícola. I. Dantas Neto, José. II. Lima, Vera Lúcia Antunes de. III. Universidade Federal da Paraíba - Campina Grande (PB). IV. Título

CDU 631.67(813.3)(043)



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

PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

**ANTÔNIO DE ALMEIDA BARRETO FILHO**

Título: "Avaliação de campo de sistemas de irrigação localizada tipo microaspersão e gotejamento da Escola Agrotécnica Federal de Sousa-PB".

COMISSÃO EXAMINADORA

PARECER

José Dantas Neto  
Dr. José Dantas Neto-Orientador

Aprovado

Vera Lúcia Antunes de Lima  
Dra. Vera Lúcia Antunes de Lima-Co-Orientadora

Aprovado

Malaquias da Silva Amorim Neto  
Dr. Malaquias da Silva Amorim Neto-Examinador

Aprovado

Campina Grande, 22 de dezembro de 1998

COORDENAÇÃO DO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Av. Aprígio Veloso, 882 - Caixa Postal 10.087  
Fones (083) 310.1055 Fax (083) 310.1114, 310.1388  
CEP 58.109-970 - CAMPINA GRANDE - PB, BRASIL  
E-mail: copeag@dcag.ufpb.br <http://www.dcag.ufpb.br/copeag.html>

Ao meu pai, cuja ternura e energia deram-me uma valiosa orientação em todos os momentos da minha vida, e à mulher que teve a bênção de ser objeto do amor dele – minha mãe.

## **AGRADEÇO**

Para **Cássia Lanusa**, minha esposa, a quem Deus tem usado para dar forma a minha vida através do seu amor, paciência e fidelidade.

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que me tem sustentado com o trigo mais fino e me saciado com o mel que escorre da rocha.

À Escola Agrotécnica Federal de Sousa (EAFS), através do seu diretor geral Francisco Cicipira, funcionários e professores, em especial ao amigo e professor dessa instituição, Everaldo Mariano, e ao funcionário Manoel José de Lima, que contribuíram muito com este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo suporte financeiro durante o curso.

Ao professor José Dantas Neto, na sua orientação equilibrada e ainda pela sua amizade, apoio, sensatez e humildade.

Aos professores Carlos Alberto Vieira de Azevedo, Vera Lúcia Antunes de Lima e ao Dr. Malaquias da Silva Amorim Neto (Embrapa/CNPA), pelas suas colaborações na revisão final deste trabalho.

Aos meus irmãos, Tobias e Socorro Barreto, pelo incentivo e carinho demonstrado para realização deste trabalho.

A José de Arimatéia de Matos, pela amizade e ajuda na revisão deste trabalho.

Ao amigo Eugênio Pacelli Leite, pela execução das figuras deste trabalho.

A todos os funcionários do Laboratório de Engenharia de Irrigação e Drenagem (LEID/DEAg/UFPB), pelo apoio e colaboração, em especial, ao funcionário Nelson, exemplo de profissionalismo e competência.

Ao funcionário José Maria, do Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS/DEAg/UFPB), pela sua colaboração.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação, pela convivência e companheirismo ao longo do curso, em especial, José Rodrigues, João Jácome, Ricardo e Joaquim, que sempre serão lembrados em minha vida.

À secretária da coordenação de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Sra. Rivanilda Diniz, pela sua prestimosidade.

À coordenação e aos professores de Pós-Graduação, pela colaboração na formação profissional e científica.

Enfim, aos amigos, colegas, professores e funcionários que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE TABELAS	viii
RESUMO	xi
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Padrão de Distribuição da Água	4
2.2. Vazão e Pressão	5
2.3. Uniformidade e Distribuição de Água	7
2.4. Eficiência de Aplicação	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Caracterização do Ambiente Experimental	15
3.2. Padrão de Distribuição de Água	17
3.3. Pressão e Vazão das Subunidades	20
3.4. Avaliação do Sistema	20
3.4.1. Uniformidade de Irrigação	21
3.4.1.1. Uniformidade de Irrigação segundo a ABNT (1987)	21

3.4.1.2. Uniformidade de Irrigação adaptada de Merriam e Keller (1978)	23
3.4.1.3. Avaliação da Uniformidade de Irrigação segundo, a ASAE EP458 (1996)	25
3.4.1.4. Uniformidade de Irrigação, segundo Christianse (1942); Keller e Karmeli (1974); e Bernardo (1995)	27
3.4.2. Eficiência de Aplicação	27
3.4.3. Manejo de Irrigação	28
3.4.3.1. Manejo de Irrigação Quanto à Disponibilidade de Água no Solo	31
3.4.3.2. Manejo de Irrigação Quanto à Quantidade de Água Necessária para a Cultura	33
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	<b>36</b>
4.1. Padrão de Distribuição de Água	36
4.2. Pressão e Vazão dos Sistemas	38
4.3. Uniformidade de Irrigação	42
4.4. Eficiência de Aplicação (Ea)	45
4.5. Manejo de Irrigação	46
4.5.1. Caracterização Físico-Hídrica do Solo	46
4.5.2. Manejo de Irrigação Quanto à Disponibilidade de Água no Solo	47
4.5.3. Manejo de Irrigação Quanto à Quantidade de Água Necessária para a Cultura	48
<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>	<b>51</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>54</b>
<b>APÊNDICES</b>	<b>58</b>

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 3.1. Layout do sistema de irrigação localizada do projeto EAFS, 1997	16
Figura 3.2. Esquema da metodologia utilizada para determinação do padrão de distribuição de água nos emissores das áreas da uva e da manga	18
Figura 3.3. Esquema dos locais de amostragem do sistema de irrigação por microaspersão na cultura da uva	29
Figura 3.4. Esquema do teste para determinação do conteúdo de umidade no solo da cultura da uva	30
Figura 4.1. Perfis de distribuição d'água dos microaspersores, em condições de campo, para as culturas da uva e manga	38
Figura 4.2. Vazão aplicada por planta ao longo da linha lateral, em condições normais de operação, para a cultura da uva	40
Figura 4.3. Vazão aplicada por planta ao longo da linha lateral, em condições normais de operação, para a cultura da manga	41

## LISTA DE TABELAS

	pág.
Tabela 2.1. Possíveis uniformidades de distribuição d'água para diferentes condições de cultivo e topografia do terreno em zonas áridas (López.1987)	11
Tabela 2.2. Classificação do coeficiente de uniformidade	11
Tabela 2.3. Valores de CUC, segundo o espaçamento médio entre plantas, recomendados por Pillsbury e Degan (1968)	12
Tabela 2.4. Eficiência de aplicação (Ea) ideal e aceitável para os diferentes métodos de irrigação (Bernardo .1995)	13
Tabela 3.1. Evaporação (Evap), umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vv), precipitação (P), temperatura máxima (Tmáx), mínima (Tmín) e evapotranspiração de referência (ETo), município de Sousa/PB.1997	17
Tabela 3.2. Limites de confiança , $\pm$ %, para uma probabilidade de 95%	26
Tabela 3.3. Comparação de uniformidades, %	26

Tabela 3.4. Fator de disponibilidade d'água no solo (f)	32
Tabela 3.5. Valores de Coeficiente de cultivo (Kc) para os estádios de desenvolvimento das culturas analisadas no projeto EAFS 1997	34
Tabela 4.1. Valores médios de precipitação P (mm), em cada semi-eixo	37
Tabela 4.2. Resultados da variação de pressão ( $\Delta P$ ) e de vazão ( $\Delta Q$ ) ao longo das laterais, linhas de derivação e ao longo das subunidades irrigadas por microaspersão	39
Tabela 4.3. Valores de pressão e vazão junto à haste	42
Tabela 4.4. Resultado da uniformidade de irrigação do sistema	42
Tabela 4.5. Valores e classificação do coeficiente de uniformidade de distribuição de água em campo do sistema de irrigação por gotejamento	44
Tabela 4.6. Valores de eficiência de aplicação nas subunidades de irrigação do projeto EAFS, 1997	45
Tabela 4.7. Caracterização físico-hídrica do solo analisado na área irrigada do projeto da EAFS, Sousa, PB.1997	47

Tabela 4.8. Resultado dos parâmetros da avaliação do manejo quanto à disponibilidade de água no solo em todos os lotes : volume de água disponível (V), capacidade total d'água no solo (CTA), volume de água necessário antes da irrigação (VANi) e fator de disponibilidade de água atual do solo 48

Tabela 4.9. Resultado dos parâmetros de avaliação do manejo de irrigação quanto à quantidade de água necessária para as culturas em todos os lotes: evapotranspiração média (ETm), volume real necessário (VRN), volume total a ser aplicado por cova (VTN), volume médio aplicado por cova (Vmed) e tempo atual de irrigação (T atual) 49

## RESUMO

Este trabalho foi realizado no campo experimental da Escola Agrotécnica Federal de Sousa – PB, tendo como objetivo avaliar o desempenho do sistema de irrigação localizada, tipo microaspersão e gotejamento ali implantado. A avaliação foi feita em uma área de aproximadamente 1,6ha, dividida em três subunidades irrigadas por microaspersão e uma por gotejamento. As subunidades do projeto foram analisadas em condições usuais de operação, refletindo assim as condições reais da condução do projeto. Os testes visaram a determinação dos seguintes parâmetros: vazão e pressão dos emissores, raio efetivo, coeficientes de aplicações de água e eficiência de aplicação. Nas condições em que foram realizados os testes de microaspersão, com exceção da subunidade da graviola, observaram-se elevadas variações de pressões nas laterais e derivações, chegando-se até 25,0% e 27,0%, respectivamente, bem acima do admissível. Os raios efetivos foram de 2,0 m e 1,6m, nas culturas da uva e da manga, respectivamente. Foi observado em campo que estava ocorrendo a superposição dos emissores na subunidade da uva, fato este indesejável para a microaspersão. Na avaliação da uniformidade de aplicação de água, utilizou-se as metodologias da ABNT (1987), Merriam e Keller (1978) e da ASAE (1996). A uniformidade de irrigação do sistema foi classificada de excelente, concluindo-se que o projeto foi hidráulicamente bem dimensionado. A eficiência de aplicação nas subunidades da uva e da graviola foram aceitáveis, enquanto que nas subunidades da manga e da goiaba foram menores, atingindo 78,3% e 69,3%, respectivamente. As irrigações eram reiniciadas quando o solo encontrava-se com umidade adequada. O volume médio de água aplicado nas subunidades foi sempre maior que o volume total necessário, demonstrando excesso de aplicação de água em todas as subunidades avaliadas.

## ABSTRACT

This work was accomplished in the experimental field of the School Federal Agrotécnica de Sousa - PB, tends as objective to evaluate the acting of the systems of irrigation located type microsprinkler and trickle there implanted. The evaluation was made in an area of approximately 1,6 hectare, divided in three small areas irrigated by microsprinkler and one for trickle. The small areas of the project was analyzed in usual conditions of operation, reflecting like this the real conditions of the conduction in field. The tests sought the determination of the following parameters: flow and pressure of the originators, effective ray, coefficients of applications of water and application efficiency. In the conditions in that the microsprinkler tests were accomplished except for the small area of the graviola, it was observed high variations of pressures in the lateral ones and derivations arriving up to 25,0% and 27,0%, respectively well above the acceptable. The effective rays were of 2.0m and 1.6m. in the cultures of the grape and sleeve, respectively. It was observed that it was happening the overlap of the originators in the small area of the grape, fact this undesirable one for microsprinkler. In the evaluation of the uniformity of application of water, it was used the methodologies of ABNT (1987), Merrian and Keller (1978) and of ASAE (1996). The uniformity of irrigation of the system was classified of excellent, being ended that the project was well hydraulic dimension. The application efficiency in the small area of the grape and graviola was acceptable, while in the small area of the sleeve and guava they were smaller, reaching 78,3% and 69,3%, respectively. The irrigations were restarted when the soil met with appropriate humidity. The medium volume of water applied in the small area was always larger than the necessary total volume, demonstrating excess of application of water in all the appraised small area.

## 1. INTRODUÇÃO

A irrigação resulta numa agricultura com uso intensivo de tecnologia, que coloca o insumo água sob controle do agricultor, eliminando riscos de perdas de produção ocasionadas por estiagens e secas. Ao mesmo tempo, permite maior produtividade pelo uso mais eficiente de insumos, como fertilizantes, defensivos, sementes melhoradas, energia elétrica e mão-de-obra. Nas condições climáticas da região Nordeste, a irrigação possibilita a obtenção de duas e até mais safras por ano, reduzindo expressivamente a ociosidade da mão-de-obra e dos equipamentos agrícolas na agricultura de sequeiro. A implantação bem sucedida de um programa de irrigação pode elevar, de forma substancial e estável, a produção de alimentos e, ainda, como decorrência do uso intensivo de tecnologia, contribuir para a modernização mais rápida do meio rural. A produção agrícola com lavouras de maior produtividade ensejará ganhos mais elevados para os agricultores e a oferta de alimentos, a custos mais reduzidos, e de emprego.

A utilização de sistemas de irrigação mais eficientes é uma busca constante na agricultura irrigada, pois existe uma tendência irreversível de aumento no custo da energia e de redução da disponibilidade hídrica nos mananciais. A irrigação localizada compreende a aplicação d'água, molhando, apenas, uma fração da área irrigada. A área

máxima molhada não deve ser superior a 55% da área sombreada pela planta, enquanto que a área mínima molhada é de 20% nas regiões úmidas e de 30% nas regiões de clima semi-árido, de acordo com Azevedo (1986). Dentre os sistemas pressurizados, a irrigação localizada é a que propicia a maior eficiência de irrigação, uma vez que as perdas na aplicação de água ao solo são relativamente pequenas, quando bem projetado e manejado.

Para se conhecer o nível de eficiência de um sistema de irrigação necessário, se faz avaliações sistemáticas. Uma avaliação completa requer a análise de fatores puramente agronômicos, como: a quantidade e frequência de irrigação, profundidade de molhamento em relação à profundidade das raízes, superfície molhada e a avaliação do funcionamento de acessórios, como emissores, filtros, reguladores de pressão e válvulas volumétricas. De posse da avaliação, caso seja necessário, fazem-se os ajustes na operação e principalmente no manejo.

Este estudo teve por finalidade avaliar o desempenho de dois sistemas de irrigação, sendo um por microaspersão e outro, por gotejamento, ambos os sistemas localizados na EAFS ( Escola Agrotécnica Federal de Sousa ) em Sousa – PB. Especificamente determinou-se: a) Vazão (Q), Pressão (P) e Raio efetivo dos emissores; b) Padrão de distribuição; c) Coeficientes de uniformidade de aplicação de água; d) Eficiência de aplicação.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Scaloppi (1986), existem basicamente 4 tipos de aplicação de água às áreas irrigadas, que caracterizam os principais sistemas de irrigação, são eles: a aplicação de água através da superfície do solo, por meio de aspersores que aplicam água a toda área, através de emissores que localizam a aplicação de água às áreas de interesse e, finalmente, através do movimento ascensional da água do lençol freático.

O sistema de irrigação localizada atinge seu ponto ótimo quando é empregado nas seguintes condições: culturas bem espaçadas, igual ou superior a 2m entre linhas, onde se possa usar, de preferência, uma tubulação com emissores para duas fileiras de plantas; culturas muito sensíveis a pequenas variações de umidade no solo, respondendo com perdas acentuadas na produtividade; quantidade d'água limitada, comparada ao tamanho da área a irrigar, exigindo uma aplicação d'água eficiente para, em consequência, irrigar-se uma área maior; culturas que exigem doses freqüentes de fertilizantes; culturas com alta rentabilidade por unidade de área; mão-de-obra escassa e onerosa, topografia com qualquer declividade dentre as recomendadas para a agricultura, desde que seja uniforme (Azevedo, 1986).

## 2.1. Padrão de Distribuição da Água

// O conhecimento da área molhada, raio de alcance efetivo e uniformidade de precipitação dos emissores são de primordial importância para o dimensionamento de um sistema de irrigação e para um manejo racional de água. Quando adequadamente dimensionado e operado, os sistemas de irrigação localizada revelam elevados níveis de uniformidade de distribuição e eficiência de aplicação. //

O que caracteriza e determina o funcionamento do microaspersor sobre uma superfície irrigada é o ensaio da distribuição pluviométrica. As curvas pluviométricas nos indicam a precipitação horária que recebe o terreno, enquanto que as curvas isoietas delimitam a área molhada, por determinadas precipitações.

Sadam e Shani (1983), citados por Armoni (1986), questionam até que ponto pode uma área ser considerada irrigada ou simplesmente úmida, e propõem um índice de precipitação de 1,0mm/h, como área úmida (irrigada ineficientemente). No entanto, concordam que um limite concreto de precipitação seja inadequado, e definem o raio efetivo como sendo a distância entre o emissor e o pluviômetro, que contenha 10% da pluviometria média, com o emissor operando a 200kPa, cuja definição é sugerida por Abreu et al. (1987).

Dantas Neto et al. (1997), trabalhando em campo com o microaspersor NAAN 7110, observaram nos testes de campo que a velocidade do vento não influenciou no diâmetro molhado nem houve diferenciação entre o diâmetro médio molhado, em laboratório e em campo; entretanto, o diâmetro efetivo molhado foi maior em campo que em laboratório.

Boman (1989), trabalhando com emissores tipos giratórios e spray, afirma que os emissores tipo spray aplicaram água em distintos raios, ao contrário da tradicional

irrigação por aspersão. Esses modelos de raio apresentaram dificuldades para descrever apropriadamente alguns parâmetros de desempenho, tais como: área de cobertura e lâminas médias aplicadas. Entretanto, os emissores tipo giratório tiveram significativamente maiores uniformidades de distribuição do que os emissores tipo spray. Os emissores tipo spray apresentaram, apenas, metade da área efetivamente molhada. Os emissores giratórios foram bem mais sucedidos, apresentando mais de 85% da área efetivamente molhada.

## 2.2. Vazão e Pressão

// Segundo Keller e Karmeli (1974), o fluxo de emissores usados em irrigação localizada, em geral, é caracterizado por uma função potencial, onde a vazão relaciona-se diretamente com a carga hidráulica atuante na entrada do emissor, sendo representada pela seguinte equação:

$$q = K_d h^x \quad (1)$$

onde:

$q$  = vazão do emissor,  $\ell/h$ ;

$K_d$  = constante de proporcionalidade que caracteriza cada emissor;

$h$  = pressão hidráulica à entrada da água no emissor, kPa;

$x$  = expoente de emissão, parâmetro que caracteriza o fluxo de um emissor como uma função da pressão de operação.

Segundo Bralts et al. (1981 a,b) , a constante de proporcionalidade “  $K_d$  ” inclui fatores relacionados à fabricação do emissor, tais como: coeficiente de vazão e área da seção transversal do orifício do emissor. Qualquer variação na vazão do emissor, devido sua fabricação, é representada pelo coeficiente “  $K_d$  ”. Assumem ainda que a pressão “  $h$  ” e o expoente “  $x$  ” são variáveis independentes. Assim, qualquer variação da vazão do emissor, devido a efeitos hidráulicos, é representada pelos valores de “  $h$  ” e “  $x$  ”, sendo que “  $x$  ” é constante para um tipo específico de emissor.

Para Keller e Karmeli (1974), o expoente “  $x$  ” caracteriza o regime de fluxo, de modo que:

$0 < x < 0,5$  = O regime de escoamento varia de turbulento a totalmente turbulento, e a vazão sofre menos influência da variação da pressão.

$0,5 < x < 1,0$  = O regime de escoamento varia de instável a laminar, verificando-se maior influência das variações de pressão sobre vazão.

De acordo com Azevedo (1986), para  $x$  igual a um, a variação da vazão está na mesma proporção da pressão, o que caracteriza fluxo laminar, indesejável pela facilidade de deposição de materiais em suspensão. Para  $x$  igual a zero, o emissor assume a condição de autocompensante, ideal por permitir que se tenham grandes variações de cargas nas laterais provocadas por perda na tubulação e/ou desnível do terreno. De onde se conclui que, quanto mais o valor de  $x$  se aproxima de zero, melhor será o emissor, do ponto de vista hidráulico.

Segundo Post et al. (1986), citados por Boman (1989), os sistemas de irrigação por microaspersão são caracterizados como tendo: pressões operacionais menores que 207kPa, taxa de descarga de 20 a 100ℓ/h e diâmetros de alcance que variam de 1,5 a 10m.

Camp et al. (1997), trabalhando em sistemas de irrigação por gotejamento com tubos novos em laboratório, encontrou variação de vazão de 5,2% , e em tubos usados em campo, a variação de vazão atingiu 29,5%. As linhas de gotejadores, quando enterradas, proporcionaram variação de vazão de até 92,6%, devido a problemas de obstrução dos emissores.

Matos et al. (1996), trabalhando em laboratório com o microaspersor Dan Sprinkler 2001, obteve uma vazão média de 21,7ℓ/h, com pressão de 200kPa. As variações de vazão foram de até 16,8%, em relação à vazão nominal fornecida pelo fabricante. Ainda segundo Matos et al. (1996), para emissores novos, dois fatores principais podem ser atribuídos às diferenças de vazões, tais quais, variações devido ao processo de fabricação e as variações de temperatura que acarretam mudanças de viscosidade da água. No entanto, estudos têm mostrado que o efeito da variação de temperatura da água em emissores com regime de fluxo turbulento ou transitório não é significativo.

### **2.3. Uniformidade e Distribuição de Água**

Os sistemas de irrigação por microaspersão e gotejamento, por serem predominantemente fixos, apresentam custos de implantação superiores àqueles que têm partes móveis. Keller e Bliesner (1990) comentam que é recomendável, após a instalação de um sistema de irrigação, procederem-se testes de campo no intuito de se verificar a adequação da irrigação que foi projetada, para recomendar, caso haja necessidade, um ajuste na operação e, principalmente, no manejo. Esses procedimentos visam maximizar a eficiência do sistema e viabilizá-lo economicamente. Os dois principais sistemas onde se emprega o método de irrigação localizada são a microaspersão e o gotejamento.

Segundo Boman (1989), a uniformidade é um indicador da igualdade (ou desigualdade) das taxas de aplicação dentro do diâmetro padrão de um emissor. Uniformidade alta é importante para irrigação em terras arenosas, onde a redistribuição lateral da água é limitada. Excessos de aplicação de água nesses solos resultam freqüentemente em lâmina percolada e lixiviação de nutrientes para fora da zona radicular. A uniformidade elevada pode ser especialmente desejável para fertirrigação ou quimirrigação, visto que as aplicações de nutrientes ou químicas não serão mais uniformes do que a distribuição de água.

A uniformidade da irrigação tem efeito no rendimento das culturas, sendo considerada um dos fatores mais importantes no dimensionamento e na operação de sistemas de irrigação. O conceito de uniformidade de distribuição foi introduzido por Christiansen em 1942, referindo-se à variabilidade da lâmina de água aplicada ao longo da extensão da superfície do terreno irrigado. A uniformidade de distribuição de água, em qualquer sistema de irrigação, apresenta importantes conseqüências na economia do projeto. Reduzidos valores de uniformidade, em geral, determinam maior consumo de água e energia, maior perda de nutrientes por deflúvio superficial e percolação profunda e, ao mesmo tempo, podem apresentar plantas com déficits hídricos, em significativa proporção da área irrigada (Scaloppi e Dias, 1996).

De acordo com Heinemann (1997), a uniformidade de distribuição de água influencia a eficiência da irrigação, a qual se caracteriza pela quantidade de água necessária ao desenvolvimento e ao rendimento de uma determinada cultura. A uniformidade de distribuição de água pode ser afetada por fatores climáticos e operacionais. Os fatores climáticos são: evaporação, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento. Os fatores operacionais são aqueles relacionados a causas hidráulicas.

A baixa uniformidade de distribuição de água pode ser atribuída a muitas causas. Para efeito de avaliação de sistemas já instalados, Bralts e Kesner (1983) agrupam as causas em duas classes:

a) causas hidráulicas – todas aquelas que afetam a pressão de operação dos emissores, podendo ser oriundas de um projeto hidráulicamente mal concebido, da falta de reguladores de pressão ou desajuste desses reguladores, elevada perda de carga, elevado desnível geométrico etc.

b) baixa uniformidade dos emissores – decorrente do alto coeficiente de variação de fabricação e/ou da obstrução dos emissores.

Segundo Clemmens (1987), os fatores que influenciam a uniformidade de aplicação nos sistemas de irrigação por gotejamento são os relacionados ao emissor e ao sistema hidráulico. Os fatores do emissor incluem: resposta à pressão, resposta para temperatura da água, variações de fabricação, obstrução e número de emissores por planta. Os fatores relacionados ao sistema hidráulico incluem: variações de pressão de lateral para lateral, devido aos reguladores de pressão, linha hidráulica principal ou topografia; e as variações de temperatura da água.

Segundo Savaldi (1991), citado por Matos (1996), vários são os fatores que influenciam na uniformidade de distribuição de água do microaspersor, podendo-se citar: posição do suporte, ângulo de irrigação, tronco e folhagem da árvore, elemento distribuidor, pressão de trabalho, reguladores e amortecedores e vazão nominal.

Segundo López (1987), as causas da desuniformidade de aplicação nos sistemas localizados são as seguintes: diferenças de pressão que se produzem na rede, devido às perdas de carga e à irregularidade da topografia do terreno; insatisfatória uniformidade de fabricação dos emissores, devido ao inadequado controle de qualidade;

número de emissores por planta; variação das características hidráulicas do emissor, ao longo do tempo, devido a possíveis obstruções e/ou envelhecimento; temperatura; efeito do vento, quando se usa microaspersão; e variação de fabricação dos reguladores de pressão quando existirem.

Alves e Lima (1994) avaliaram o coeficiente de uniformidade de Christiansen de microaspersores nacionais e importados, tendo observado valores que variaram de 27 a 62%. Na oportunidade, os autores observaram ainda que até 9% do volume total aplicado pelo microaspersor escorreu junto à haste.

Keller e Karmeli (1974) propuseram o conceito de uniformidade de emissão, que tem sua definição baseada na razão entre as vazões mínima e média dos emissores, sendo a obtenção dessas vazões, por meio de quatro pontos, ao longo da linha lateral, simetricamente distribuídos. Segundo Bralts et al. (1987), esse conceito é uma forma modificada do procedimento de avaliação recomendado pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos, sendo ainda usado como padrão para comparação entre situações diferentes e é definido como o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD). Segundo Bralts e Edwards (1986), a principal desvantagem desse método é a sua base não estatística, por isso, limita a sua confiança, e a determinação dos componentes de variação de fluxo não é possível.

Na Tabela 2.1, são apresentadas possíveis uniformidades de distribuição d'água, na irrigação localizada, sob diferentes condições de cultivo e topografia do terreno em zonas áridas, de acordo com López (1987).

Tabela 2.1. Possíveis uniformidades de distribuição d'água para diferentes condições de cultivo e topografia do terreno em zonas áridas (López, 1987).

Tipo de Emissor	Topografia do Terreno	Uniformidade
Emissores com espaçamento superior a 4,0m em cultivo permanente	Declividade uniforme $\leq 2\%$	90 a 95%
	Declividade $\geq 2\%$ ou ondulado	85 a 90%
Emissores com espaçamento inferior a 2,5m em cultivo permanente ou semi-permanente	Uniforme	85 a 90%
	Terreno em declive ou ondulado	80 a 90%
Mangueiras de gotejamento em cultivo anual e horticultura	Uniforme	80 a 90%
	Terreno em declive ou ondulado	70 a 85%

\* Em zonas úmidas, todos os valores são reduzidos em 10%.

Segundo Smajstrla et al. (1990), citados por Almeida (1997) e Bernardo (1995), os coeficientes CUC e o CUD na irrigação localizada podem ser classificados em distintos níveis, como descrito na Tabela 2.2.

Tabela 2.2. Classificação do coeficiente de uniformidade.

CLASSE	CUC <sup>1</sup> %	CUD <sup>2</sup> %
Excelente	Acima de 90	Acima de 84
Bom	80 - 90	68 - 84
Razoável	70 - 80	52 - 68
Ruim	60 - 70	36 - 52
Inaceitável	Abaixo de 60	Abaixo de 36

Fonte: (1) Smajstrla et al. (1990), citados por Almeida (1997), (2) Bernardo (1995).

Segundo Gomes (1994), os valores recomendáveis para a uniformidade de distribuição d'água variam também com o sistema radicular da cultura. Com um maior desenvolvimento das raízes, a planta possuirá um maior raio de alcance para alimentar-se,

diminuindo, assim, a dependência da cultura com relação a uma maior uniformidade de distribuição. A Tabela 2.3 indica os valores mínimos dos Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC), recomendados por Pillsbury e Degan (1968), citados por Gomes (1994), em função dos espaçamentos entre plantas cultivadas.

Tabela 2.3. Valores mínimos de CUC, segundo o espaçamento médio entre plantas, recomendados por Pillsbury e Degan (1968).

Espaçamento entre plantas * (m)	CUC (%)
< 2	85
2 - 4	80
4 - 6	75
6 - 8	65

\*Média do espaçamento ao longo e entre as fileiras das plantas.

Fonte: Gomes (1994).

#### 2.4. Eficiência de Aplicação

A eficiência de aplicação é a estimativa da percentagem do total de água aplicada na irrigação que é considerada útil às plantas. Em geral, a baixa eficiência nos projetos de irrigação por aspersão está relacionada com a desuniformidade de distribuição d'água e com a perda d'água por evaporação e por arrastamento pelo vento, (Bernardo,1995).

A eficiência de aplicação, segundo Merrian e Keller (1978), fornece uma medida da eficiência operacional total dos sistemas, contanto que irrigações adequadas sejam aplicadas. A eficiência de aplicação usada em todos os outros procedimentos de avaliação não pode ser usada para sistemas de irrigação localizada, que umedece, apenas, parte da área. No cálculo da profundidade média acumulada, admite-se que toda a água descarregada dos gotejadores, até a deficiência de umidade do solo (d.u.s), é armazenada.

A água em excesso da d.u.s perde-se por percolação profunda. É sempre difícil estimar a d.u.s na parte umidificada da zona básica com irrigação por gotejamento, mesmo com o intervalo de irrigação sendo de vários dias. Para avaliação da amostra, onde as irrigações são aplicadas todo dia, é praticamente impossível estimar a d.u.s. Contudo, com um bom manejo e irrigações complementares para reabastecer toda a água consumida pelas plantas, as perdas por percolação profunda irá variar em aproximadamente 10%.

Verifica-se, na Tabela 2.4, que, em virtude das irrigações por aspersão e por gotejamento estarem menos sujeitas à interferência do irrigante no campo, esses métodos apresentam maiores eficiências.

Tabela 2.4. Eficiência de aplicação (Ea) ideal e aceitável para os diferentes métodos de irrigação (Bernardo, 1995).

Método de irrigação	Ea ideal (%)	Ea aceitável (%)
	Superfície	
Sulco (convencional)	≥ 75	≥ 60
Corrugação	≥ 70	≥ 60
Faixa	≥ 80	≥ 65
Inundação	≥ 85	≥ 65
	Aspersão	
Convencional	≥ 85	≥ 75
Autopropelido	≥ 85	≥ 75
Pivô central	≥ 85	≥ 75
	Localizada	
Gotejamento	≥ 95	≥ 80
Microaspersão	≥ 95	≥ 80
	Superficial	
Lençol freático estável	≥ 70	≥ 60
Lençol freático variável	≥ 80	≥ 65

Para Bernardo (1995), a eficiência de aplicação representa as perdas d'água por evaporação e por arrastamento pelo vento, no trajeto das gotas d'água, e diz que as principais variáveis que afetam essas perdas são: velocidade do vento, umidade relativa e temperatura do ar.

A eficiência de aplicação é definida por Frizzone (1992) pela relação entre a quantidade de água incorporada ao solo, até a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, e a quantidade de água aplicada. Esse índice incorpora a eficiência de distribuição e a eficiência em potencial de aplicação, dando idéia das perdas de água por percolação e evaporação.

Ainda segundo Frizzone (1992), maximizar a eficiência nem sempre significa otimizar o lucro, pois o aumento dos custos iniciais e operacionais estão, normalmente, associados ao aumento na uniformidade da irrigação. Os benefícios econômicos esperados com alta eficiência de aplicação devem, portanto, ser cuidadosamente avaliados em relação aos custos associados aos altos índices de uniformidade. Máximo lucro pode ser obtido com menor uniformidade, principalmente quando água, energia e fertilizantes não são fatores restritivos quanto à disponibilidade, à qualidade e ao custo.

Dentre os sistemas de irrigação, a localizada apresenta maiores valores de eficiência de aplicação, da ordem de 80 a 90%, bem superiores às faixas de 60 a 80%, e 50 a 70%, dos sistemas por aspersão e superfície, respectivamente (Keller e Bliesner, 1990). É importante observar que tais valores são apenas referências que devem ser comprovadas para cada condição de funcionamento, pois os aspectos locais relacionados com o manejo, a manutenção, a programação do equipamento e a cultura afetam, de forma significativa, os valores reais de eficiência. Segundo Merriam e Keller (1978), é relativamente fácil obterem-se dados para avaliação da irrigação, através de perguntas ao irrigante e de observações de campo. Entretanto, para que se possam adotar modificações no sistema de irrigação, torna-se necessário que se obtenham informações através de uma avaliação detalhada.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Caracterização do Ambiente Experimental

Este trabalho foi realizado na área experimental do Perímetro Irrigado de São Gonçalo, no município de Sousa, PB, pertencente à Escola Agrotécnica Federal de Sousa (EAFS), cujas coordenadas geográficas são 6°45'S de latitude, 38°13'W de longitude e altitude de 233m. Segundo a classificação de Koppen, o clima é do tipo BSh, isto é, semi-árido quente. A temperatura média anual é de 27,8°C, com uma média anual de precipitação de 894mm, concentrada nos meses de janeiro a maio. A umidade relativa média do ar é de 58%, e a velocidade média do vento é de 2,5m/s.

A avaliação foi feita em uma área irrigada de aproximadamente 1,6ha, dividida em três subunidades irrigadas por microaspersão e uma por gotejamento, nos meses de outubro e novembro de 1997. Não houve condições de se obterem informações de projeto, haja vista a indisponibilidade dessas informações. Inicialmente foram instalados manômetros de Bourdon no cabeçal de controle e em cada área analisada, com o objetivo de observar-se a variação de pressão do sistema. A Figura 3.1 apresenta o layout da área avaliada.

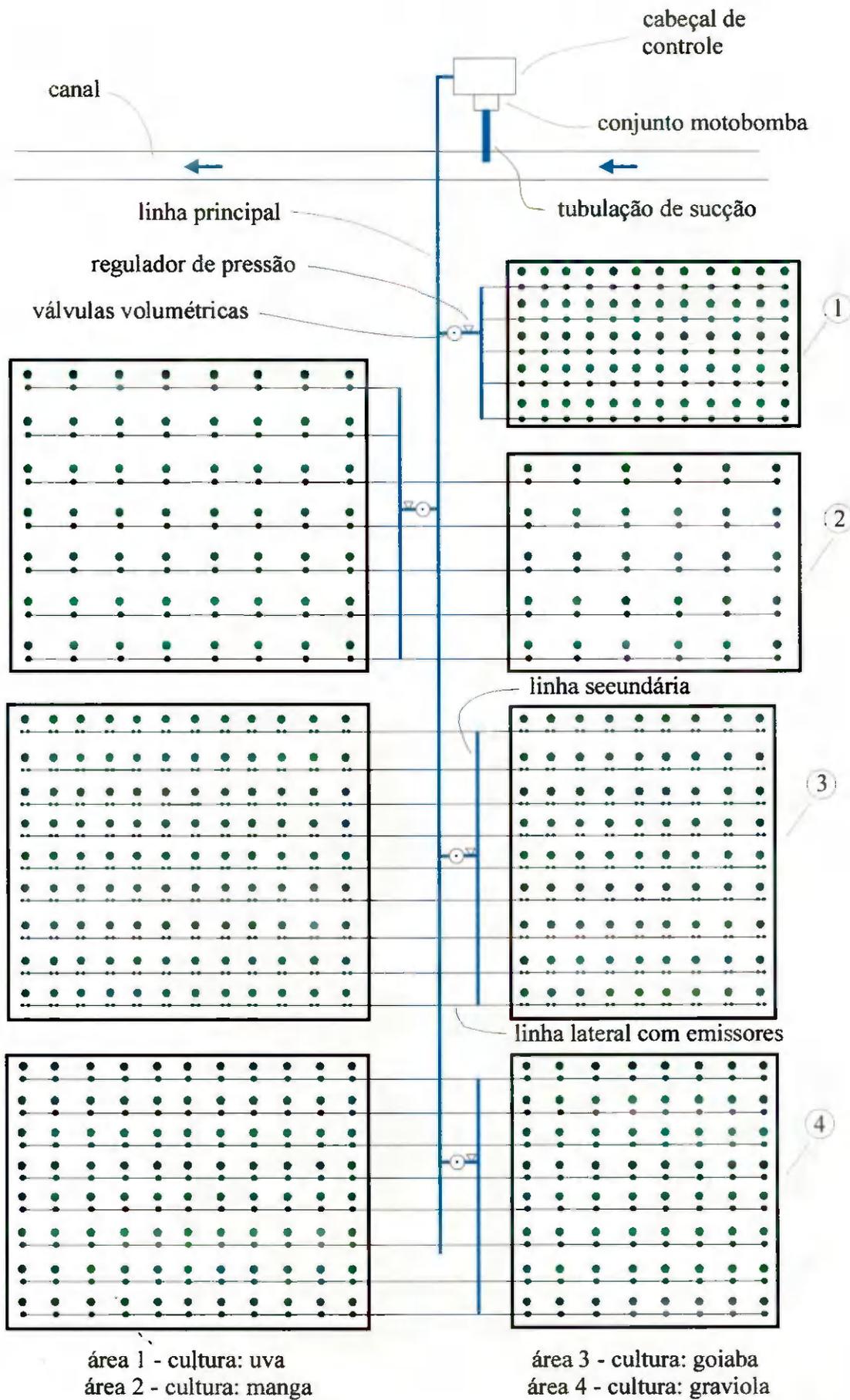


Figura 3.1. Layout do sistema de irrigação localizada do projeto EAFS ,1997.

Os dados meteorológicos, necessários para a avaliação dos sistemas de irrigação, foram obtidos no Perímetro Irrigado da Estação Meteorológica de São Gonçalo, Sousa/PB, pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia e se encontram na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Evaporação (Evap), umidade relativa (UR), velocidade do vento (Vv), precipitação (P), temperatura máxima (Tmáx), mínima (Tmín) e evapotranspiração de referência (ETo), município de Sousa/PB.1997.

Média Diária							
Mês	Evap (mm)	UR (%)	Vv (m/s)	P (mm)	Tmáx (°C)	Tmín (°C)	Eto (mm)
Out.	9.1	53.0	3.2	0.0	36.0	22.2	6.4

### 3.2. Padrão de Distribuição de Água

Para determinar o padrão de distribuição de água foram instaladas duas linhas de pluviômetros dispostos ortogonalmente, com o emissor instalado na interseção dessas linhas. Os pluviômetros utilizados foram recipientes cilíndricos de PVC, medindo 10,0cm de diâmetro e 15,0cm de altura. Esses coletores foram espaçados equidistantes a cada 40cm, cujo espaçamento está de acordo com as normas da ABNT (1987), nas quais os coletores devem estar espaçados de, no máximo, 20% do raio de alcance do emissor. Instalou-se em seguida um conjunto de pluviômetros, equidistantes em torno do microaspersor a ser testado. O tempo de duração do teste em cada subunidade foi de 2 horas (tempo adotado pelo irrigante), sendo o resultado a média de cinco repetições. A Figura 3.2 apresenta o esquema da metodologia para determinação do padrão de distribuição de água para as culturas da uva e da manga.

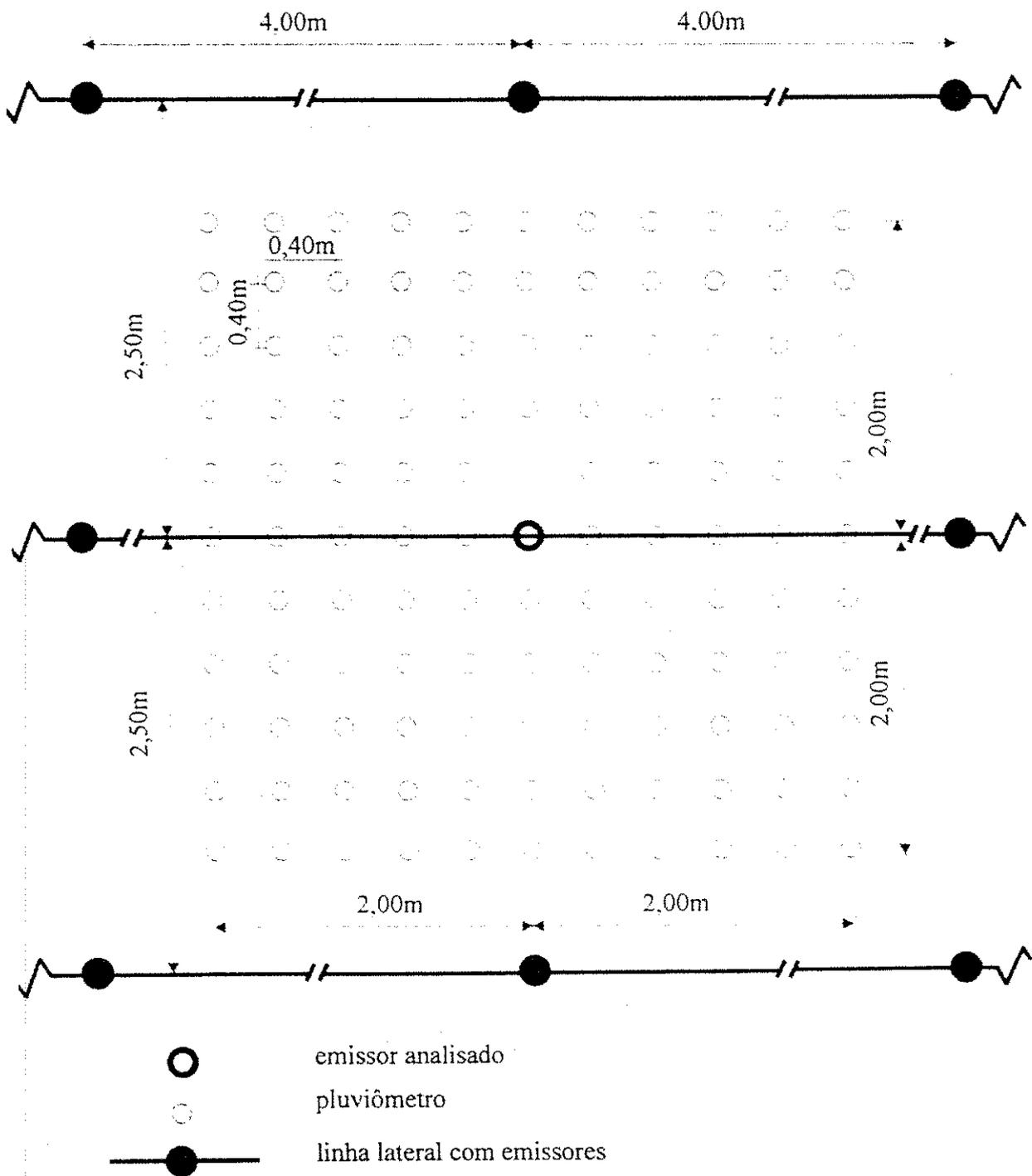


Figura 3.2. Esquema da metodologia utilizada para determinação do padrão de distribuição de água nos emissores das áreas da uva e da manga.

O volume médio de cada coletor da malha foi transformado em lâmina de água (Equação 2) e, posteriormente, transformado em intensidade de precipitação, através da Equação 3.

$$La = V/A \quad (2)$$

onde :

$La$  = Lâmina coletada (mm);

$V$  = Volume coletado ( $l$ );

$A$  = Área do coletor ( $m^2$ ).

$$Ia = La / t \quad (3)$$

onde :

$Ia$  = Intensidade de precipitação (mm/h);

$t$  = Tempo de irrigação (h).

A velocidade do vento foi determinada no local do teste, através de um anemômetro digital portátil, no início, meio e fim da avaliação. No início do teste, foram colocados três pluviômetros próximo à área de estudo, com 80ml de água cada um e, no final do teste, por diferença de volume, obteve-se a água evaporada. No início e no final de cada teste, foram realizadas as medições de vazão e pressão do emissor, com a finalidade de se observar variações ao longo do tempo de funcionamento, sendo realizadas três repetições de medição da vazão no tempo de 1 minuto.

### 3.3. Pressão e Vazão das Subunidades

Sabendo-se que uma aplicação uniforme de água está relacionada com a variação de pressão máxima que ocorre nas laterais, em cada subunidade irrigada por microaspersão, verificou-se a variação de pressão e vazão ao longo dessas linhas. A perda de carga admissível foi dividida entre a linha lateral e a linha de derivação, na base de 55% e 45%, respectivamente, Olitta (1986). As equações utilizadas foram as seguintes:

$$\Delta P = \frac{P_{\text{máx}} - P_{\text{mín}}}{P_{\text{máx}}} \cdot 100 \quad (4)$$

$$\Delta Q = \frac{Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}}{Q_{\text{máx}}} \cdot 100 \quad (5)$$

onde :

$\Delta P$  = variação de pressão, na lateral, %;

$P_{\text{máx}}$  = valor máximo de pressão, na lateral,  $\text{kgf/cm}^2$ ;

$P_{\text{mín}}$  = valor mínimo de pressão na lateral,  $\text{kgf/cm}^2$ ;

$\Delta Q$  = variação de vazão na lateral, %;

$Q_{\text{máx}}$  = valor máximo de vazão na lateral,  $\ell/h$ ;

$Q_{\text{mín}}$  = valor mínimo de vazão na lateral,  $\ell/h$ .

### 3.4. Avaliação do Sistema

Avaliou-se os sistemas de microaspersão e gotejamento através da análise dos dados coletados em campo e, posteriormente, em função dos seguintes parâmetros de desempenho: uniformidade, eficiência e manejo de irrigação em condições usuais de operação, refletindo, assim, as condições reais de condução do projeto.

### 3.4.1. Uniformidade de Irrigação

A avaliação da uniformidade de irrigação do projeto EAFS, 1997, foi feita através das seguintes metodologias: Uniformidade de irrigação, segundo a ABNT (1987), Merriam e Keller (1978), ASAE EP458 (1996), Christiansen (1942), Keller e Karmeli (1974) e Bernardo (1995).

#### 3.4.1.1. Uniformidade de Irrigação segundo a ABNT (1987)

A uniformidade de irrigação, segundo a ABNT (1987), é baseada no coeficiente proposto por Christiansen (1942). Para se determinar a uniformidade de irrigação de Christiansen em cada subunidade irrigada por microaspersão, foram feitos os seguintes procedimentos: as vazões foram medidas, no início, a um terço, a dois terços e no final de cada linha lateral e em quatro posições localizadas no início, a um terço, a dois terços e no final de cada linha de derivação nas subunidades escolhidas. Para determinação da vazão de cada microaspersor, foi colocado sobre esses uma cuba capaz de interceptar o jato d'água, que era coletado através de um pluviômetro com capacidade de 1.178ml e, em seguida, colocado em uma proveta graduada de 1.000ml. Os volumes coletados foram, posteriormente, convertidos em vazões ( $\ell/h$ ), cujo resultado é a média de 3 repetições. O tempo de duração para cada coleta foi de 1 minuto. O tempo foi suficiente para coletar volume superior a 200ml, valor mínimo recomendado pela ABNT (1987). A medida do tempo era feito por meio de um cronômetro com precisão de 0,1 segundo.

Paralelo às medidas de vazões, procedeu-se também as medidas de pressões que foram realizadas através de um manômetro de mercúrio, com escala de 0,66kPa (inferior aos 2kPa exigidos pela ABNT,1987), conectado ao tubo de conexão ou

espaguete, distante 30cm do emissor. Foram também realizadas medidas de pressão no início de todas as áreas avaliadas através dos reguladores de pressão. Para determinar o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), foi utilizada a seguinte equação:

$$CUC = 100 \left( 1 - \frac{\sum_i^n |Q_i - Q|}{n Q} \right) \quad (6)$$

em que :

$Q_i$  = vazão coletada em cada microaspersor ( $\ell/h$ );

$Q$  = média das vazões coletadas de todos os microaspersores ( $\ell/h$ ); e

$n$  = número de microaspersores analisados.

A uniformidade de irrigação da subunidade irrigada por gotejamento foi obtida através da medição da vazão de todos os gotejadores ao longo de todas as linhas laterais, necessitando, para isso, de um cronômetro e uma proveta graduada de 100ml. Para determinação da vazão de cada gotejador, foi colocado sob esses um coletor que interceptava toda água descarregada e, em seguida, colocada em uma proveta graduada de 100ml. Os volumes coletados foram, posteriormente, convertidos em vazão ( $\ell/h$ ), cujo resultado é a média de 5 repetições. O tempo de duração para cada coleta foi de 1 minuto. A medida do tempo era feita por meio de um cronômetro com precisão de 0,1 segundo. Após a obtenção dos dados de vazões de todos os gotejadores em todas as linhas laterais, foi analisada a uniformidade pelo método de Christiansen (1942), levando-se em consideração a vazão dos emissores ao longo de todas as linhas laterais e a pressão de

funcionamento no início das linhas de derivação, requerendo-se muito tempo e muita mão-de-obra. A obtenção dos dados de vazões de todos os gotejadores foi possível, haja vista o pequeno número de gotejadores e de laterais. A equação utilizada nesta metodologia foi a 6.

#### 3.4.1.2. Uniformidade de Irrigação adaptado de Merriam e Keller (1978)

A avaliação dos sistemas de irrigação localizada, de acordo com Merriam e Keller (1978), pôde ser feita a partir dos dados colhidos em campo, utilizados na metodologia recomendada pela ABNT (1987). O coeficiente de uniformidade de irrigação das subunidades ou uniformidade de emissão (UE), segundo Keller e Karmeli (1974), é baseado na razão entre as vazões mínimas e médias dos emissores, sendo determinado a partir da seguinte equação:

$$UE = 100 \cdot \frac{q_{25\%}}{q_{med}} \quad (7)$$

em que:

$q_{25\%}$  = média de 25% do total de microaspersores com as menores vazões (ℓ/h); e

$q_{med}$  = média das vazões coletadas de todos os microaspersores na subunidade (ℓ/h).

Com os dados de pressões mínimas, obtidas na unidade operacional de irrigação, que continha a subunidade em que foi realizado o teste anterior, calculou-se a média e, em seguida, determinou-se o fator de correção das vazões, mediante a seguinte equação:

$$FCV = \left[ \frac{P_{25\%}}{\text{média de } P_{\min}} \right]^x \quad (8)$$

onde:

FCV = fator de correção das vazões;

média de  $P_{\min}$  = média de todas as pressões mínimas das subunidades da unidade operacional de irrigação ( $\text{kgf/cm}^2$ );

$P_{25\%}$  = pressão média de 25% das pressões mais baixas dentro das mínimas das subunidades avaliadas ( $\text{kgf/cm}^2$ );

$x$  = expoente de descarga do emissor.

Em quatro emissores escolhidos no teste anterior, determinou-se o expoente de descarga, para duas pressões diferentes, mediante a seguinte equação:

$$x = \frac{\log(\bar{q}_1 / \bar{q}_2)}{\log(h_1 / h_2)} \quad (9)$$

sendo:

$\bar{q}_1$  = é a média das 4 vazões obtidas com a pressão  $h_1$ ;

$\bar{q}_2$  = é a média das 4 vazões obtidas com a pressão  $h_2$ .

A uniformidade de irrigação do sistema (CUS) foi obtida aplicando-se a seguinte equação:

$$CUS = UE \cdot FCV \quad (10)$$

### 3.4.1.3. Avaliação da Uniformidade de Irrigação segundo, a ASAE EP458 (1996)

Bralts e Kesner (1983) propuseram um método de estimação de uniformidade em campo, fundamentado no coeficiente de uniformidade estatístico. O método de uniformidade estatística usa o coeficiente de variação relacionado à taxa de fluxo do emissor. As vantagens contidas nesse método incluem simplicidade de determinações em campo e a facilidade para fixar limites de confiança em estimativas de uniformidade.

Selecionou-se uma subunidade de irrigação que estava funcionando em concordância com as condições normais de trabalho. A uniformidade estatística foi usada para avaliar a uniformidade de aplicação de água dentro das subunidades do projeto EAFS 1997, sendo determinada como segue:

$$U_s = 100 ( 1 - V_{qs} ) \quad (11)$$

em que:

$U_s$  = Uniformidade estatística da taxa de descarga do emissor;

$V_{qs}$  = Coeficiente de variação de vazão na subunidade.

Para a determinação do coeficiente de variação de vazão para a subunidade ou sistema, foi usada a seguinte equação:

$$V_{qs} = S_q / q_{med} \quad (12)$$

onde:

$S_q$  = desvio padrão da vazão dos emissores ( $\ell/h$ );

$q_{med}$  = vazão média do emissor na subunidade( $\ell/h$ ).

De acordo com uma uniformidade de irrigação estatística específica, para uma probabilidade de 95%, que se desejava conseguir, e um determinado tamanho de amostra  $n$ , pela Tabela 3.2, determinou-se o limite de confiança.

Tabela 3.2. Limites de confiança,  $\pm$  %, para uma probabilidade de 95%.

Us	Número de observações $n$				Vqs
	18	36	72	144	
90	3.5	2.4	1.7	1.2	0.1
80	7.3	5.0	3.4	2.4	0.2
70	11.5	7.8	5.4	3.8	0.3
60	16.2	10.9	7.6	5.4	0.4

Fonte: ASAE EP458 (1996)

A Tabela 3.3 foi desenvolvida para facilitar as comparações com a ASAE Prática de Engenharia EP405. Esta tabela compara os resultados de uniformidade de emissão (UE) com os valores de uniformidade estatística, Us.

Tabela 3.3. Comparação de uniformidades. %.

Grau de aceitabilidade	Uniformidade Estatística, Us	Uniformidade de emissão, EU
Excelente	100 – 95	100 – 94
Bom	90 – 85	87 – 81
Normal	80 – 75	75 – 68
Ruim	70 – 65	62 – 56
Inaceitável	< 60	< 50

Fonte: ASAE EP458 (1996)

#### **3.4.1.4. Uniformidade de Irrigação, segundo Christianse (1942); Keller e Karmeli (1974); e Bernardo (1995)**

Paralelamente às metodologias descritas anteriormente na subunidade de gotejamento, foram estudadas as seguintes metodologias: Uniformidade de irrigação, segundo Christiansen (1942), Keller e Karmeli (1974), e Bernardo (1995).

O método simplificado de Christiansen (1942) consiste em determinar o CUC por linha lateral, escolhendo, ao acaso, quatro linhas laterais em cada subunidade, sendo o CUC do sistema a média dos CUC das linhas (Bernardo, 1995).

A metodologia proposta por Keller e Karmeli (1974) é baseada entre as razões mínimas e médias dos emissores, sendo a obtenção dessas vazões por meio de quatro pontos, ao longo da linha lateral e da linha de derivação, simetricamente distribuídos. A equação utilizada foi a 7.

O método dos oito pontos sugeridos por Bernardo (1995), em razão do pequeno número de pontos determinados em cada linha lateral, principalmente em se tratando de linhas laterais de maior comprimento, sugere-se a coleta de dados em oito emissores por linha lateral, usando-se o seguinte critério de seleção dos emissores:

- Determinou-se a vazão do primeiro gotejador, dos gotejadores situados a  $1/7$ ,  $2/7$ ,  $3/7$ ,  $4/7$ ,  $5/7$ ,  $6/7$  e do último gotejador.

- As quatro linhas laterais selecionadas ao longo da linha de derivação, para determinação, devem ser a primeira e as situadas a  $1/3$ , a  $2/3$  e a última. A equação utilizada foi a 6.

#### **3.4.2. Eficiência de Aplicação**

A eficiência de aplicação ( $E_a$ ) sob irrigação completa, segundo Merriam e Keller (1978), pode ser estimada por :

$$E_a = 0.9 \times UE \quad (13)$$

onde :

UE = Uniformidade de emissão (%).

### 3.4.3. Manejo de Irrigação

Antes da realização dos testes para fins de análises, foram retiradas amostras de solo para determinação de algumas características físico-hídricas do solo, como a distribuição do tamanho das partículas, densidade global, capacidade de campo e ponto de murcha.

As coletas de amostras de solo foram feitas através de tradagens, distribuídas na área experimental até uma profundidade de 60cm, sendo que, para efeito de estudo, foi considerada até 30cm, zona de exploração atual do sistema radicular. Foram escolhidas três áreas de teste, localizadas no início, no meio e no fim da linha de derivação, situando-se nas faixas molhadas das respectivas linhas laterais de cada subárea estudada, conforme Figura 3.3. O procedimento foi o mesmo para as demais subunidades.

Estas amostras foram acondicionadas em sacos plásticos e levadas para o Laboratório de Irrigação e Salinidade (LIS) do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal da Paraíba, onde foram secas ao ar, peneiradas e homogeneizadas. Para análise granulométrica, utilizou-se o método do densímetro e a classificação textural, a partir do triângulo de texturas, proposto pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA). A capacidade de campo e o ponto de murcha foram determinados utilizando-se o extrator de Richards com a panela de pressão e placa de cerâmica porosa, respectivamente a tensões de 0,33 e 15atm. Para a densidade global, utilizou-se o método da proveta, Blake (1965).

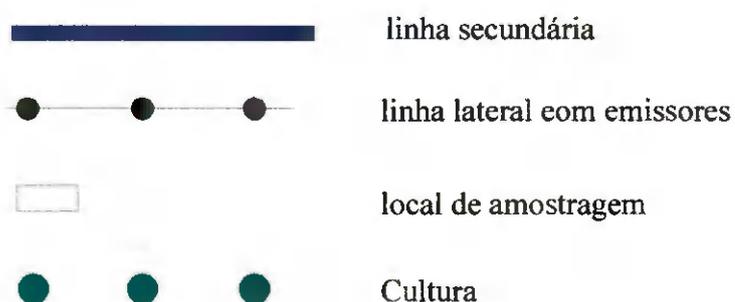
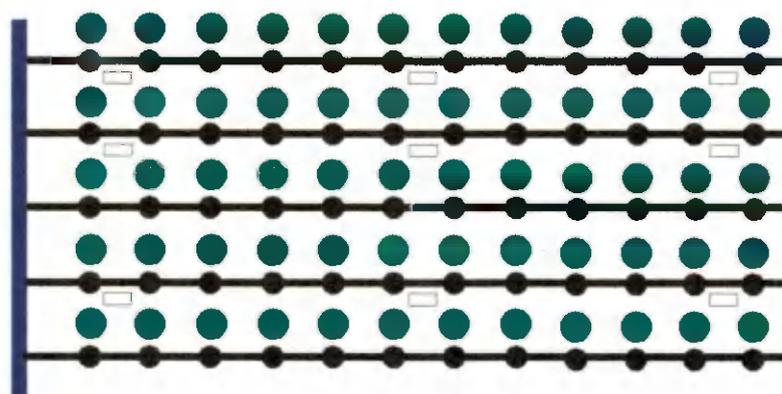


Figura 3.3. Esquema dos locais de amostragem do sistema de irrigação por microaspersão na cultura da uva

Para determinação do conteúdo de umidade no solo, o local escolhido foi o correspondente à pressão média de cada subunidade, levando-se em consideração, também, o raio efetivo de cada emissor analisado.

A amostragem foi realizada em três direções ao longo do emissor e em duas profundidades, 0-30cm e 30-60cm. Os locais para realização dos testes se encontram na Figura 3.4.



O manejo de irrigação foi baseado nos seguintes parâmetros: disponibilidade de água no solo em cada subunidade e na quantidade de água necessária para cada cultura.

### 3.4.3.1. Manejo de Irrigação Quanto à Disponibilidade de Água no Solo

A metodologia utilizada para o manejo de irrigação quanto à disponibilidade de água no solo em cada subunidade foi a proposta por Bernardo (1995), que pode ser descrita da seguinte maneira:

O volume de água disponível, que representa a quantidade d'água que o solo pode armazenar por determinado tempo, foi determinado pela seguinte equação:

$$V = (C_c - P_m) \cdot D_a \cdot \frac{P_w}{100} \quad (14)$$

onde:

V = volume de água disponível; m<sup>3</sup>/ha/cm:

C<sub>c</sub> = capacidade de campo, % em peso:

P<sub>m</sub> = ponto de murchamento, % em peso:

D<sub>a</sub> = densidade aparente do solo, g/cm<sup>3</sup>.

P<sub>w</sub> = percentagem de área molhada, %

A capacidade total d'água no solo, considerando a profundidade efetiva do sistema radicular das culturas do projeto EAFS 1997, foi determinada através da seguinte equação:

$$CTA = V. Z \quad (15)$$

onde:

CTA = capacidade total d'água no solo, m<sup>3</sup>/ha;

Z = profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

O fator de disponibilidade d'água no solo antes da irrigação (f atual) foi obtido a partir da relação entre o volume de água necessário antes da irrigação (VANi) e a capacidade total d'água no solo (CTA). Segundo Bernardo (1995), o fator de disponibilidade d'água no solo (f) deve variar entre 0.2 e 0.8. Os valores menores são usados para culturas mais sensíveis ao déficit d'água no solo, e os maiores, para as culturas mais resistentes.

A Tabela 3.4 apresenta os valores de " f " para três grandes grupos de culturas irrigadas.

Tabela 3.4. Fator de disponibilidade d'água no solo (f).

Grupos de culturas	Valores
Verduras	0.2 a 0.6
Frutas e forrageiras	0,3 a 0,7
Grãos e algodão	0,4 a 0,8

Fonte: Bernardo (1995)

Foi determinado o volume d'água que se necessita aplicar por irrigação, considerando que toda água necessária à cultura foi suprida pela irrigação. A equação utilizada foi a seguinte:

$$VAN_i = (C_c - U_a) \cdot D_a \cdot Z \quad (16)$$

onde :

$VAN_i$  = volume de água necessário antes da irrigação,  $m^3/ha$ ;

$U_a$  = umidade do solo antes de irrigação (% em peso).

### 3.4.3.2. Manejo de Irrigação Quanto a Quantidade de Água Necessária para a Cultura

A metodologia utilizada para avaliar o manejo de irrigação, quanto à quantidade de água necessária para a cultura, foi a proposta por Bernardo (1995) e pela ABNT (1987), que pode ser descrita da seguinte maneira:

A partir do conhecimento da percentagem de área molhada ( $P_w$ ), foi possível determinar a evapotranspiração média das áreas irrigadas com a utilização da seguinte equação recomendada por Bernardo (1995):

$$ET_m = ET_c \cdot \frac{P_w}{100} \quad (17)$$

em que:

$ET_m$  = evapotranspiração média na área irrigada, em mm/dia;

$ET_c$  = evapotranspiração potencial da cultura, mm/dia.

onde:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (18)$$

em que  $K_c$  é o coeficiente da cultura e  $ET_o$  é a evapotranspiração potencial de referência.

Dentre os vários métodos utilizados para determinação de evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), tais como: Thornthwaite, Tanque Classe "A", Radiação Solar, Penman – FAO e Penman-Monteith, o escolhido foi o método do Tanque Classe "A", devido a sua simplicidade e precisão dos resultados.

A Tabela 3.5 apresenta os valores do coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>), para o período atual e acima de 2 anos, referentes às culturas implantadas no projeto estudado.

Tabela 3.5. Valores de Coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) para os estádios de desenvolvimento das culturas analisadas no projeto EAFS 1997.

Cultura	Idade	
	< 4 meses	> 2 anos
Uva	0.5	0.7
Manga	0.5	0.8
Goiaba	0.5	0.7
Graviola	0.65	0.8

Fonte : SUDENE (1983)

Determinou-se o volume real necessário a ser aplicado por irrigação, em relação à área de influência das culturas, através da seguinte equação recomendada por Bernardo (1995):

$$VRN = ET_m \cdot TR \cdot A_i \quad (19)$$

onde :

VRN = volume real necessário, ℓ/cova;

TR = turno de rega, dia;

A<sub>i</sub> = área de influência, por cova, m<sup>2</sup>.

O volume total necessário a ser aplicado por cova foi obtido pela relação entre o volume real necessário e a eficiência de aplicação, ou seja:

$$VTN = \frac{VRN}{Ea} \quad (20)$$

em que:

VTN = volume total a ser aplicado por cova, em litros;

Ea = Eficiência de aplicação, %.

O volume médio de água aplicado por cova foi obtido, segundo a ABNT (1987), pela seguinte expressão:

$$Vmed = qmed \cdot FCV \cdot h \cdot n \quad (21)$$

onde:

Vmed = volume médio de água aplicado por planta, em litros;

qmed = média das vazões determinadas em todos os pontos de emissão do ensaio, em  $\ell/h$ ;

FCV = fator de correção de vazão;

h = período de aplicação de água, em horas;

n = número de pontos de emissão por planta.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1. Padrão de Distribuição de Água

Os resultados para determinação da precipitação horária em cada pluviômetro encontram-se nas Tabelas A-7 e A-8 do Apêndice. De acordo com Abreu et al. (1987), foram consideradas pertencentes ao raio efetivo, precipitações iguais ou superiores a 10% da precipitação média. Para a cultura da uva, o microaspersor Carborundum MS III, com uma pressão média de  $0,8\text{kgf/cm}^2$ , apresentou um raio efetivo de 2,00m, com diâmetro molhado de 4,0m (Apêndice A-7a). O diâmetro molhado está abaixo do recomendado pelo fabricante (5,2m), isto se deve ao fato da pressão nominal recomendada pelo fabricante ser praticamente o dobro ( $1,5\text{kgf/cm}^2$ ) da encontrada na área do projeto. Para a cultura da manga, o microaspersor estudado apresentou um raio efetivo de 1,6m, para uma pressão média de  $1,0\text{kgf/cm}^2$  (Apêndice A-8). Não foi possível comparar-se com o do fabricante, haja vista a indisponibilidade de informação para esse fim.

Os valores médios de precipitação coletados em cada semi-eixo, para os microaspersores com as pressões médias de  $0.8\text{kgf/cm}^2$  e  $1.0\text{kgf/cm}^2$ , nas culturas da uva e da manga, respectivamente, se encontram na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Valores médios de precipitação  $\bar{P}$  (mm) em cada semi-eixo.

Distância do emissor (cm)	Uva					Manga				
	Semi-eixo					Semi-eixo				
	N	S	L	W	$\bar{P}$ (mm)	N	S	L	W	$\bar{P}$ (mm)
40	3.1	1.1	1.7	2.3	2.1	3.4	3.4	2.2	1.4	2.6
80	6.2	2.0	2.2	2.8	3.3	3.9	0.5	0.4	1.9	1.7
120	3.3	2.5	2.4	1.0	2.3	2.0	1.1	0.8	3.3	1.8
160	1.6	1.9	1.7	0.8	1.5	0.4	1.1	0.3	2.9	1.2
200	0.3	1.5	0.3	0.3	0.6	—	—	—	—	—

Com a média de precipitação dos quatro semi-eixos, foram confeccionados os perfis de distribuição d'água nas culturas da uva e da manga (Fig. 4.1). Observa-se que o microaspersor utilizado na cultura da uva, apesar de apresentar uma maior precipitação a uma distância de 80cm, o perfil desse microaspersor apresenta uma distribuição triangular, ou seja, a precipitação diminui com a distância. Armoni (1986) afirma que este tipo de distribuição é melhor adaptado para emissores que trabalham com sobreposição. O microaspersor utilizado na cultura da manga apresentou uma maior concentração d'água nos primeiros 40cm, a partir desta medida, sua curva, segundo Armoni (1986), apresenta uma distribuição uniforme.

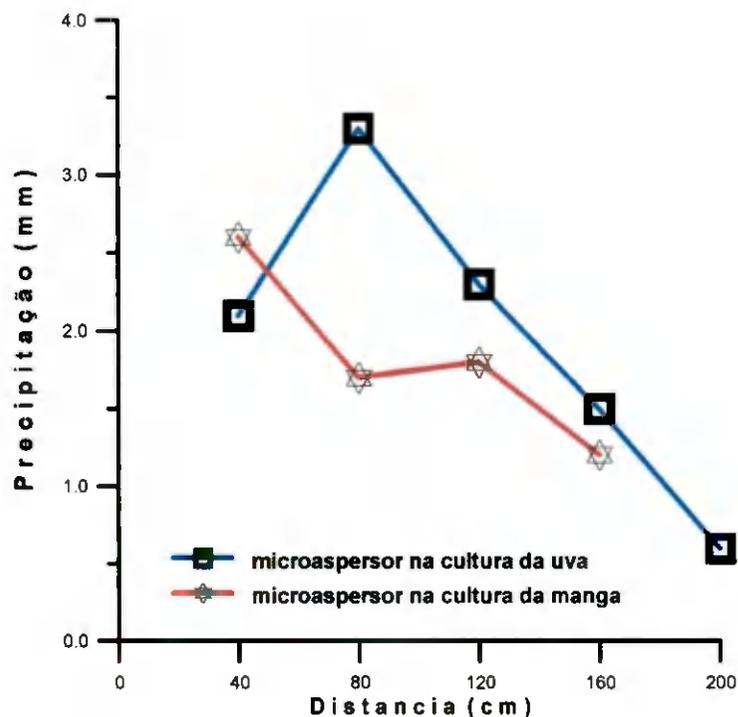


Figura 4.1. Perfis de distribuição d'água dos microaspersores em condições de campo para as culturas da uva e da manga.

#### 4.2. Pressão e Vazão dos Sistemas

As pressões e vazões dos microaspersores são fatores que influenciam no desempenho de eficiência dos sistemas de irrigação, pois a operação incorreta desses provocam variações que irão refletir na lâmina de irrigação útil para a cultura. Nas Tabelas A-2 a A-6 do Apêndice, apresentam-se as pressões e vazões médias dos emissores analisados.

Na Tabela 4.2, são apresentados os resultados da variação de vazão e de pressão ao longo das linhas laterais, das linhas de derivação e ao longo das subunidades irrigadas por microaspersão.

Tabela 4.2. Resultados da variação de pressão ( $\Delta P$ ) e de vazão ( $\Delta Q$ ) ao longo das laterais, das linhas de derivação e ao longo das subunidades irrigadas por microaspersão.

Linha Lateral	Uva		Linha Lateral	Manga		Linha Lateral	Graviola	
	$\Delta P$ %	$\Delta Q$ %		$\Delta P$ %	$\Delta Q$ %		$\Delta P$ %	$\Delta Q$ %
1	27,0	18,0	1	8,0	8,0	1	14,0	16,0
3	33,0	9,0	3	59,0	43,0	3	0,0	3,0
4	13,0	8,0	5	6,0	3,5	6	0,0	1,3
5	25,0	3,0	7	6,0	22,0	8	14,0	2,5
Média	25,0	10,0	Média	20,0	19,0	Média	7,0	5,7
Linha de derivação	27,0	18,5	Linha de derivação	20,0	10,5	Linha de derivação	0,0	13,6
Subunidade	45,5	20,7	Subunidade	25,0	12,6	Subunidade	14,3	11,4

Observando-se os resultados apresentados de pressão média nas laterais, variação de pressão nas linhas de derivação e variação de pressão entre os emissores extremos dessas subunidades, com exceção da graviola, percebe-se que esses valores são elevados, acima do recomendado por Keller e Karmeli (1974), que deve ser para pressões médias nas laterais de, no máximo, 11%, para linhas de derivações, 9%, e para emissores extremos de uma área, funcionando simultaneamente 20%. Estes resultados podem ser atribuídos ao entupimento de alguns emissores e hastes sem emissores. A variação de vazão dos emissores extremos dessas subunidades também se apresentaram elevados, uma vez que o máximo recomendado é de 10%, por esses mesmos autores. Na Tabela A-9 do Apêndice, observou-se uma variação de vazão nos extremos da subunidade irrigada por gotejamento de 25%, também acima do recomendável, que é de 10% (Keller e Karmeli, 1974). Não foram determinadas as pressões nesses emissores. Valores elevados também foram encontrados por Camp et al. (1997), trabalhando em sistemas de irrigação por gotejamento, com tubos novos em laboratório, encontraram variação de vazão de 5,2%, e

em tubos usados em campo, a variação de vazão atingiu 29,5%. As linhas de gotejadores, quando enterradas, proporcionaram variação de vazão de até 92,6%, devido a problemas de obstrução dos emissores.

A variação de pressão no cabeçal de controle atingiu valores elevados, chegando até a 45,0%, devido a entupimentos nos filtros durante a realização dos testes. Nas Figuras 4.2 e 4.3, tem-se a variação de vazão aplicada ao longo das laterais. A linha lateral da área irrigada para a cultura da uva apresentou baixa variação de vazão, mostrando que não necessita de correções, enquanto ocorreu uma acentuada variação de vazão ao longo da linha lateral da área irrigada para a cultura da manga, decorrentes de entupimentos nos microaspersores e hastes sem emissores.

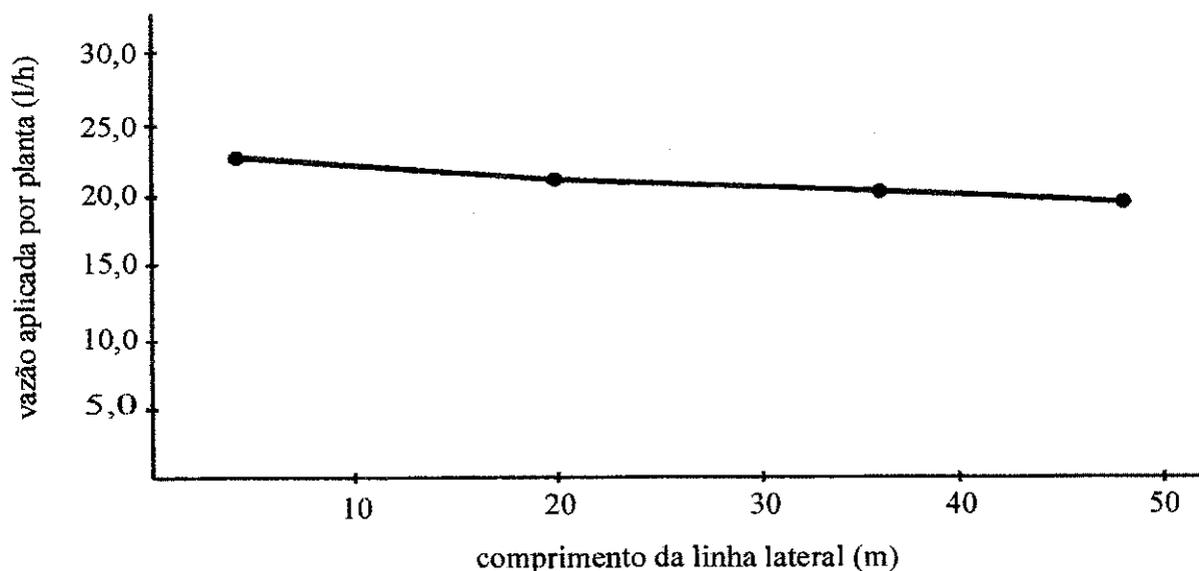


Figura 4.2. Vazão aplicada por planta ao longo da linha lateral, em condições normais de operação para cultura da uva.

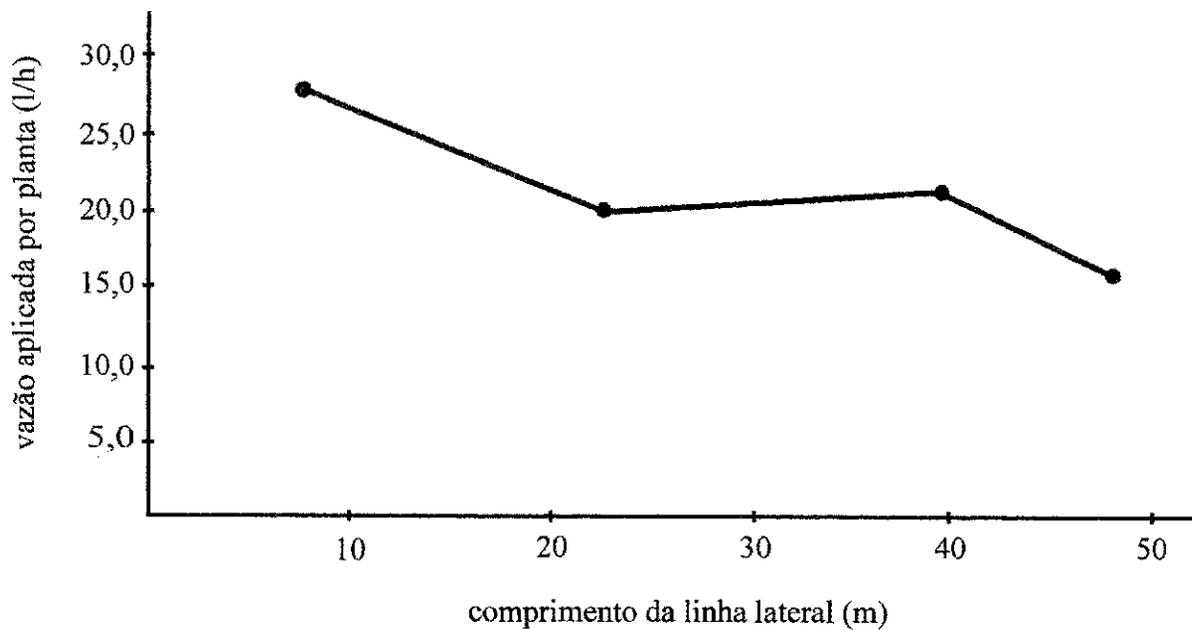


Figura 4.3. Vazão aplicada por planta ao longo da linha lateral, em condições normais de operação, para cultura da manga.

A pressão e vazão junto à haste podem ser observadas na Tabela 4.3. Observa-se que o percentual, escoando junto à haste, é bem inferior ao valor máximo de 9%, encontrado por Alves e Lima (1994). Medeiros (1996) observou escoamento junto à haste dos microaspersores NAAN 7110, em condições de campo de 0,31; 0,30; 0,28 e 0,24 (l/h), o que corresponde a 0,8; 0,7; 0,7 e 0,6% do volume aplicado, respectivamente. Rocha (1996), trabalhando com o microaspersor australiano ANTELCO, modelo RRN30, observou, durante os testes, que escoou, junto à haste, 0,60 a 0,74% do volume de água aplicado pelo microaspersor.

Tabela 4.3. Valores de pressão e vazão junto à haste.

Culturas	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Vazão		
		Haste (ℓ/h)	Total (ℓ/h)	(%)
Uva	0,8	0,03	21,5	0,1
Manga	1,0	0,02	21,0	0,1

### 4.3. Uniformidade de Irrigação

Os resultados para análise da uniformidade de irrigação estão apresentados nas Tabelas A-2 a A-7 e A-9 do Apêndice. A Tabela 4.4 apresenta os resultados de uniformidade de irrigação do sistema de acordo com as três avaliações propostas na metodologia.

Tabela 4.4. Resultado da uniformidade de irrigação do sistema.

Subunidades	Uniformidade de Irrigação do Sistema					
	Christiansen (1942)		Merriam e Keller (1978)		ASAE (1996)	
	%	Classificação	%	Classificação	%	Classificação
Uva	97,0	Excelente	89,0	Excelente	92,0 ± 3	Excelente
Manga	93,0	Excelente	87,0	Excelente	85,0 ± 5	Bom
Graviola	94,0	Excelente	94,0	Excelente	94,0 ± 3	Excelente
Goiaba	90,5	Excelente	—	—	82,0 ± 3	Bom

Os valores encontrados representam a uniformidade de irrigação em cada subunidade. A uniformidade de irrigação do sistema, de acordo com Smajstrla et al. (1990), citados por Almeida (1997), Bernardo (1995) e ASAE (1996), de uma maneira geral, pode ser classificada de excelente, concluindo-se que o projeto foi hidraulicamente bem dimensionado. A avaliação, segundo Merriam e Keller (1978), na subunidade da cultura da goiaba não apresentou resultados, devido não ter sido determinada a pressão nos emissores nessa área. O fator de correção de vazão (FCV) foi de 1.0 em todas as subunidades. Para a determinação dos limites de confiança na metodologia da ASAE (1996), o tamanho das amostras consideradas foram de 16 e 72, para os sistemas de microaspersão e gotejamento, respectivamente. Rodrigues (1997) analisou a importância de se escolher adequadamente o coeficiente de uniformidade, verificando uma diferença de sensibilidade aos diferentes fatores operacionais considerados. Almeida (1997), trabalhando com sistema de irrigação localizada por microaspersão, encontrou coeficientes de uniformidade elevados, variando de 91.2 a 97%. Cruz et al. (1997), avaliando em campo o gotejador Carborundum, modelo GFT, por diferentes métodos, observaram que os coeficientes de uniformidade variaram de 84.29 a 90.76%, apresentando um desempenho de bom a excelente.

A partir do conhecimento do raio de alcance de cada emissor, os coletores foram dispostos numa malha quadrada de 3,20 x 3,20m e 4,0 x 4,0m, para as culturas da manga e da uva, respectivamente. Após 2 horas de funcionamento (tempo adotado pelo irrigante), com o emissor submetido a uma pressão média de 1,0kgf/cm<sup>2</sup> e 0,8kgf/cm<sup>2</sup>, para as culturas da manga e da uva, respectivamente, foram feitas as leituras dos volumes de água em cada pluviômetro, através de provetas graduadas de 1000ml e 10ml, dependendo do volume de água nos pluviômetros. Os valores de lâmina média obtidos para as culturas da uva e da manga foram de 2,1 e 1,5mm, respectivamente. Na cultura da

uva, ocorreu a superposição de vários microaspersores sobre a mesma área. A superposição não se adequa bem à sistema de irrigação por microaspersão, devido ao fato da irrigação localizada não ter o objetivo da distribuição d'água pelos emissores em 100% da área. Os valores de precipitação, obtidos para as culturas da uva e da manga, sem repor evaporação, e eliminando valores menores que 0.1mm e os seus respectivos raios efetivos, encontram-se nas Tabelas A-7a e A-8 do Apêndice.

A Tabela 4.5 apresenta os valores do coeficiente de uniformidade de distribuição de água do sistema por gotejamento, para os métodos simplificado de Christiansen (1942), oito pontos de Bernardo (1995) e de Keller e Karmeli (1974), bem como a sua classificação de acordo com Smajstrla et al. (1990), citados por Almeida (1997) e Bernardo (1995).

Tabela 4.5. Valores e classificação do coeficiente de uniformidade de distribuição de água em campo do sistema de irrigação por gotejamento.

Método	UD (%)	Classificação	
Christiansen	Total	90.5	Excelente
	Simplificado	89.0	Bom
Oito pontos	83,0	Bom	
Keller e Karmeli	77,0	Bom	

Os valores de vazão ( $\ell/h$ ) da subunidade de irrigação por gotejamento de todos os emissores se encontram na Tabela A-13 do Apêndice. Quando se aplicou a equação de Christiansen em todos os gotejadores, o CUC do sistema foi igual a 90,5%, considerado excelente por Smajstrla et al. (1990), citado por Almeida (1997). O método dos oito pontos, recomendado por Bernardo (1995), foi de 83,0%, sendo considerado bom

pelo mesmo autor. Este valor se aproxima do encontrado pelo método simplificado de Christiansen (89,0%), isto se deve ao fato de estarmos tratando de laterais com poucos emissores. O método de Keller e Karmeli (1974) apresentou um resultado menos satisfatório, tornando-o menos confiável que os demais.

#### 4.4. Eficiência de Aplicação (Ea)

Na Tabela 4.6. apresentam-se os valores de eficiência de aplicação para as subunidades irrigadas por microaspersão e gotejamento. Os resultados encontrados para as culturas da uva e da graviola estão acima do mínimo aceitável ( $\geq 80,0\%$ ), recomendado por Bernardo (1995). As culturas da manga e da goiaba apresentaram resultados abaixo do recomendado, podendo isso ser atribuído às variações de pressão e de vazão observadas em todas as laterais.

Tabela 4.6. Valores de eficiência de aplicação nas subunidades de irrigação do projeto EAFS, 1997.

Subunidades	Cultura	Eficiência de aplicação, %
Microaspersão	Uva	80,1
Microaspersão	Manga	78,3
Microaspersão	Graviola	84,6
Gotejamento	Goiaba	69,3

## 4.5. Manejo de Irrigação

### 4.5.1. Caracterização Físico-Hídrica do Solo

A Tabela 4.7 apresenta o resultado da caracterização físico hídrica dos solos analisados do projeto EAFS 1997. Os solos dessas áreas apresentaram classificação textural variando de franco arenoso a franco argiloso, com predominância de franco-argiloso-arenoso. Os valores de capacidade de campo e ponto de murcha, com exceção da graviola, a 60cm de profundidade, variaram de 12,7 a 18,7% e 5,9 a 9,6%, respectivamente, condizentes com solos de textura arenosa, segundo Kiehl (1979). Os maiores valores para capacidade de campo foram observados nos perfis onde ocorreu predominância das frações silte + argila, maiores responsáveis pela retenção de água no solo, segundo (Reichardt,1985). Os valores de densidade aparente variaram de 1,26 a 1,39g/cm<sup>3</sup>, com média de 1,33g/cm<sup>3</sup>, o que indica a inexistência de camada de impedimento por compactação. No entanto, a ocorrência de valores relativamente elevados de densidade aparente na camada superficial do solo é indicio do processo de compactação, provavelmente causada por implementos agrícolas.

Em geral, solos arenosos e franco arenosos possuem massa específica variando de 1,20 a 1,80g/cm<sup>3</sup>, superiores aos solos de superfície argilosa, franco-argilosa e franco siltosa, que podem variar de 1,00 até 1,60g/cm<sup>3</sup> (Brady, 1989).

Tabela 4.7. Caracterização físico-hídrica do solo analisado na área irrigada do projeto da EAFS, Sousa, PB.1997.

Cultura	Prof (cm)	Separata (%)			Classe Textural (USDA)	CC (%)	PM (%)	Ua (%)	Da (g/cm <sup>3</sup> )
		Arg.	Silte	Areia					
UVA	30	23.2	18,3	58,5	Franco Argilo Arenoso	12.7	5.9	10.8	1.38
	60	23.1	22.2	54.7	Franco Argilo Arenoso	14.8	6.6	10.5	1.39
MANGA	30	23.3	20,4	56,3	Franco Argilo Arenoso	13.2	6.7	11.5	1.33
	60	23.2	20.3	56.5	Franco Argilo Arenoso	12.8	6.6	9.8	1.26
GOIABA	30	23,0	20,7	56,3	Franco Argilo Arenoso	14.8	8.0	13.8	1.34
	60	23,3	22,5	54,2	Franco Argilo Arenoso	14,6	8,0	12,2	1,35
GRAVIOLA	30	19,2	26,5	54,2	Franco Arenoso	18,7	9,6	17,8	1,32
	60	33,9	22,7	43,4	Franco Argiloso	30,4	15,3	18,5	1,30

#### 4.5.2. Manejo de Irrigação Quanto à Disponibilidade de Água no Solo

Na Tabela 4.8, apresentam-se os resultados referentes ao manejo da irrigação quanto à disponibilidade de água no solo, para as culturas da uva, manga, goiaba e graviola do projeto da Escola Agrotécnica Federal de Sousa (EAFS),1997.

Tabela 4.8. Resultado dos parâmetros da avaliação do manejo quanto à disponibilidade de água no solo em todos os lotes: volume de água disponível (V), capacidade total d'água no solo (CTA), volume de água necessário antes da irrigação (VANi) e fator de disponibilidade de água atual do solo.

Subunidades	Culturas			
	Uva	Manga	Goiaba	Graviola
V (m <sup>3</sup> /ha/cm)	5.2	4.8	5,0	6.6
CTA (m <sup>3</sup> /ha)	156.0	144,0	150.0	198.0
VANi (m <sup>3</sup> /ha)	78.7	67.8	40.2	35.6
f atual	0.5	0.5	0.3	0.2

Após as análises físico-hídricas do solo, determinou-se o volume de água disponível (V) para cada subunidade do projeto, observando um maior volume na graviola e menor na manga. Em seguida, determinou-se a capacidade total de água no solo (CTA), levando-se em consideração a profundidade efetiva do sistema radicular das culturas irrigadas no projeto, que foi de 30cm. O volume de água necessário, antes da irrigação (VANi), permite verificar, após avaliação, se as irrigações estavam sendo feitas no momento e na quantidade correta. O fator de disponibilidade (f) de água no solo em todas as áreas estão dentro do limite recomendado por Bernardo (1995), que é de  $f = 0.5$ , para frutas e forrageiras. Nas áreas da goiaba e da graviola, observou-se que as irrigações se processaram antes do limite recomendado anteriormente.

#### 4.5.3. Manejo de Irrigação Quanto à Quantidade de Água Necessária para a Cultura

A Tabela 4.9 apresenta os resultados dos parâmetros de avaliação do manejo de irrigação quanto à quantidade de água necessária para as culturas em todas as subunidades.

Tabela 4.9. Resultado dos parâmetros de avaliação do manejo de irrigação quanto à quantidade de água necessária para as culturas em todos os lotes: evapotranspiração média (ETm), volume real necessário (VRN), volume total a ser aplicado por cova (VTN), volume médio aplicado por cova (Vmed) e tempo atual de irrigação (T atual).

Subunidades	Culturas			
	Uva	Manga	Goiaba	Graviola
ETm, mm/dia	2,0	2,0	2,0	2,0
VRN, ℓ/cova	25,1	16,1	6,3	16,1
VTN, ℓ/cova	31,3	20,6	8,2	22,1
Vmed, ℓ/cova	40,8	48,2	12,0	49,2
T atual, horas	2	2	3	3

Para uma evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) de 6,4mm/dia para o mês do experimento, a evapotranspiração média (ETm) das subunidades irrigadas foi de 2,0mm/dia. Isto deve-se ao fato das culturas apresentarem coeficientes de cultivo baixos ( $k_c = 0,55$ ), devido ao estágio inicial de desenvolvimento das culturas (< quatro meses), mesmo havendo levado em consideração uma porcentagem de área molhada ( $P_w$ ) de 55%, valor máximo recomendado pela literatura para regiões de clima semi-árido (Azevedo 1986).

O maior volume real necessário por irrigação (VRN) foi observado na subunidade da uva, devido ao microaspersor utilizado apresentar maior raio efetivo do que o das subunidades da manga e da graviola. O menor volume real necessário por irrigação ocorreu no sistema de irrigação por gotejamento, considerando-se um raio efetivo de 1,0m, já que esse sistema aplica água pontualmente.

Nas subunidades irrigadas pelo sistema de microaspersão, a área da uva necessita de uma maior quantidade de volume de água a ser aplicado, ainda que a menor eficiência de aplicação (78,3%) tenha ocorrido na área da manga. Considerando-se que o

turno de irrigação é diário, verifica-se que, no estágio atual, o  $V_{med}$  foi sempre maior que o VTN, demonstrando, com isso, um excesso de aplicação que será compensado no futuro com o desenvolvimento vegetativo das plantas. Pôde-se observar que as irrigações não foram feitas tomando, como referência, as necessidades das culturas, ou em relação ao déficit de água no solo, e sim, de um turno de irrigação e volume fixos. Almeida (1997), avaliando um sistema de irrigação por microaspersão na cultura da banana, observou, também a aplicação de lâminas de água excessivas em, praticamente, todos os lotes avaliados, mesmo em condições de alta demanda evapotranspirométrica.

O tempo de aplicação ( $T_{atual}$ ) é suficiente para proporcionar  $V_{médios}$  superiores a VTN, recomendando-se um tempo uniforme de 2 horas para todos os sistemas de microaspersão (culturas da uva, manga e graviola).

É importante salientar que estas avaliações são válidas, apenas, para o atual estágio de desenvolvimento dessas culturas, reforçando a idéia de que novas avaliações do sistema devem ser feitas posteriormente, uma vez a cada ano.

## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Tendo como base os resultados obtidos através dos métodos usados na avaliação, conforme as condições anteriormente expostas, elaboraram-se as seguintes conclusões e recomendações :

### Conclusões

1. Os raios efetivos dos microaspersores utilizados nas subunidades da uva e da manga foram de 2,00 e 1,60m, respectivamente, com uma maior concentração de precipitação a uma distância de 0,8 e 0,4m dos emissores.

2. A variação de pressão e de vazão nos extremos das subunidades irrigadas por microaspersão apresentaram-se elevadas em todas as subunidades avaliadas, com valores acima do recomendado, que seria de 20,0% e 10,0%, respectivamente.

3. No cabeçal de controle, os filtros foram excessivamente bloqueados, uma vez que a variação de pressão ao longo desses chegaram até a 45,5%.

4. As uniformidades de irrigação dos sistemas por microaspersão apresentaram-se elevadas nas diferentes metodologias propostas, variando de 85 a 97,0%, mostrando que os sistemas foram hidraulicamente bem dimensionados. A uniformidade de irrigação do sistema por gotejamento apresentou melhores resultados, à medida que aumentou o número de elementos na amostra, variando de 77 a 90%.

5. A Eficiência de aplicação nas subunidades da uva e da graviola são aceitáveis, enquanto que nas subunidades da manga e da goiaba foram menores, atingindo 78,3 e 69,3%, respectivamente, estando abaixo do mínimo aceitável, que é de 80,0%, para irrigação localizada.

6. As irrigações eram reiniciadas quando o solo encontrava-se com umidade adequada. O fator de disponibilidade de água no solo era de 50,0%, para as culturas da uva e da manga; 30,0%, para a da goiaba e 20,0%, para a da graviola.

7. No estágio de desenvolvimento das culturas, observaram-se excessos de aplicação de água em todas as subunidades avaliadas. O volume médio aplicado foi sempre maior que o volume total necessário.

8. Os resultados obtidos confirmaram que a qualidade de uma irrigação não depende somente de um projeto bem elaborado, mas, fundamentalmente, de um manejo eficiente.

## Recomendações

1. Instalação de outra motobomba com a mesma característica das já existentes, com objetivo de aumentar a pressão do sistema.
2. Realizar lavagens freqüentes nos filtros.
3. Uniformizar o tempo de irrigação para 2.0 horas .
4. É importante salientar que essas avaliações são válidas, apenas, para o atual estágio de desenvolvimento dessas culturas, reforçando-se a idéia de que novas avaliações do sistema devem ser feitas posteriormente, uma vez a cada ano.
5. Realização de outros trabalhos que possibilitem o aprofundamento dos resultados encontrados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de Irrigação Localizada: Avaliação do desempenho**. São Paulo, 11p. 1997. Projeto 12: 02-08-20.
- ABREU, J. M. H.; LOPEZ, J. R.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **El riego localizado**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias. 1987. 317p.
- ALMEIDA, F. T. **Avaliação dos sistemas de irrigação pressurizados e do manejo da água na cultura da banana no Projeto Gorutuba**. Viçosa: UFV, 1997. 96p. Dissertação Mestrado
- ALVES, D. R. D.; LIMA, L. A. Avaliação da uniformidade de distribuição de água de microaspersores e microdifusores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 23, 1994, Campinas. **Resumos...** Campinas: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola. 1994, n.94 - 3 - 316. p.17.
- ARMONI, S. **Micro - sprinkler irrigation**. Kibuts Dan: Dan sprinklers, Israel, 1986. 91p.
- ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Field Evaluation of Microirrigation Systems**. EP458. St. Joseph, p.792-797. 1996.
- AZEVEDO, H. M. Irrigação localizada. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n.139, p.40-53, 1986.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6ª ed. Viçosa: UFV, 1995. 657p.
- BLAKE, G. R. Particle Density. In: **Methods of Soil Analysis**. Part I. American society of agronomy. Monography 9. 1965.

- BOMAN, B. J. Distribution Patterns of Microirrigation Spinner and Spray Emitters. **Applied Engineering in Agriculture**, v.5, n.2, p.50-56. 1989.
- BRADY, N. C. **Natureza e propriedade dos solos**. 7ª edição. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1989. 878p.
- BRALTS, V. F.; EDWARDS, D. M. Field Evaluation of Drip Irrigation Submain Units. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.29, n.6, p.1659-1164. 1986.
- BRALTS, V. F.; EDWARD, D. M.; WU, I. P. Drip irrigation design and evaluation based on statistical uniformity concept. In: HILLEL, D. **Advances in irrigation**. Orlando: Academic, 1987. v.4, p.67-117.
- BRALTS, V. F.; KESNER, C. Drip irrigation field uniformity estimation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.5, p.1369-1374. 1983.
- BRALTS, V. F.; WU, I. P.; GITLIN, H. M. Drip irrigation uniformity considering emitter plugging. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.5, p.1234-1240. 1981a.
- BRALTS, V. F.; WU, I. P.; GITLIN, H. M. Manufacturing variations and drip irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.24, n.1, p.113-119. 1981b.
- CAMP, C. R.; SADLER, E. J.; BUSSCHER, W. J. A Comparison of Uniformity Measures for Drip Irrigation Systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.40, n.4, p.1013-1020. 1997.
- CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of California. 1942. 124p.
- CLEMMENS, A. J. A Statistical Analysis of Trickle Irrigation Uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.30, n.1, p.169-175. 1987.
- CRUZ, R. L. Avaliação da uniformidade de aplicação de água do gotejador Carborundum-GFT, em condições de campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1997, Campina Grande. **Resumos...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. CD Rom.

- DANTAS NETO, J.; MEDEIROS, M. G. A.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, H. M. Performance hidráulica e perfil de distribuição de água do microaspersor NAAN 7110, sob diferentes condições de vento. **R. Bras. Eng. Agríc. e Ambiental**, Campina Grande, v.1, p.57-61. 1997.
- FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão: Uniformidade e eficiência**. Piracicaba – ESALQ: Departamento de Engenharia Rural, 1992. 53p. (Série didática, 003).
- GOMES, H. P. **Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento**. João Pessoa: Editora Universitária, 1994. 344p.
- HEINEMANN, A. B. Influência de três ângulos entre linhas radiais de coletores no coeficiente de uniformidade de Christiansen em um sistema pivô central. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1997, Campina Grande. **Resumos...** Campina Grande: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1997. CD Rom.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 652p.
- KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.17, n.4, p.678-684. 1974.
- KIEHL, E. J. **Manual de Edafologia**. São Paulo: Ed. Ceres, 1979. p.89-110.
- LOPEZ, J. R. Uniformidad de riego. In: ABREU, J. M. H.; LOPEZ, J. R.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **El riego localizado**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 3ª parte, 1987. p.199-207.
- MATOS, J. A. **Características hidráulicas e da distribuição de água do microaspersor DAN SPRINKLER 2001**. Campina Grande: UFPB, 1996. 81p. Dissertação Mestrado
- MATOS, J. A.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, H. M.; AZEVEDO, C. A. V. Características hidráulicas do microaspersor Dan Sprinkler 2001. **Irriga**, Botucatu, v.1, n.3, p.30-44. 1996.

- MEDEIROS, M. G. A. **Performance do microaspersor NAAN 7110 em condições de campo e laboratório.** Campina Grande: UFPB, 1996. 75p. Dissertação Mestrado
- MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management.** Logan: Agricultural an Irrigation Engineering Departament, 1978. 271p.
- OLITTA, A. F. L. **Os Métodos de Irrigação.** São Paulo: Editora Nobel, 1986. 267p.
- REICHARDT, K. **Processos de Transferência no Sistema Solo - Planta - Atmosfera.** Piracicaba: Fundação Cargill. 1985. 445p.
- ROCHA, F. A. Características hidráulicas do microaspersor ANTELCO, modelo RRN30. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1996. Bauru. **Resumos...** Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. CD Rom.
- RODRIGUES, L. R.; Mello, J. L. P.; MANTOVANI, E. C.; RAMOS, M. M. Coeficientes de Uniformidade: Sensibilidade a mudanças nos fatores operacionais. **Irriga.** Botucatu, v.2, n.2, p.90-99. 1997.
- SCALOPPI, E. J. Critérios básicos para seleção de sistemas de irrigação. **Informe Agropecuário.** Belo Horizonte, v.12, n.239, p.54-63. 1986.
- SCALOPPI, E. J.; DIAS, K. F. S. Relações entre a pressão de operação e a uniformidade de distribuição de água de aspersores rotativos por impacto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1996, Bauru. **Resumos...** Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. CD Rom.
- SUDENE - Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste. **Dados Climáticos Básicos do Nordeste.** Recife. 1983.

## APÊNDICES

TABELA A-1. Resumo dos resultados obtidos para avaliação das subunidades irrigadas por microaspersão e gotejamento.

Parâmetros de avaliação	Cultura				
	Uva	Manga	Graviola	Goiaba	
Espaçamento da cultura	2,5 x 4,0m	8,0 x 8,0m	6,0 x 5,0m	6,0 x 5,0m	
Idade	3 meses	3 meses	3 meses	3 meses	
Profundidade efetiva do sistema radicular	0,30m	0,30m	0,30m	0,30m	
Solo	franco argilo arenoso	franco argilo arenoso	franco argiloso	franco argilo arenoso	
Água – fonte	canal	canal	canal	canal	
Sistema de irrigação	microaspersão	microaspersão	microaspersão	gotejamento	
Área irrigada	0,07ha	0,5ha	0,5ha	0,6ha	
Tempo de irrigação	2 horas	2 horas	3 horas	3 horas	
Intervalo de irrigação	diário	diário	diário	diário	
Vazão média do emissor	20,4l/h	24,1l/h	16,4l/h	2,0l/h	
Número de emissores por planta	01	01	01	02	
Espaçamento do emissor	2,5 x 4,0m	8,0 x 8,0m	6,0 x 5,0m	6,0 x 5,0m	
Linha lateral	comprimento	51,0m	63,0m	47,0m	51,0m
	diâmetro	16mm	16mm	16mm	10mm
	material	polietileno	polietileno	polietileno	polietileno
Linha principal e secundária	diâmetro	50mm	50mm	50mm	50mm
	material	PVC	PVC	PVC	PVC

## Tabela A-1a. Informações complementares.

Relevo : Plano.

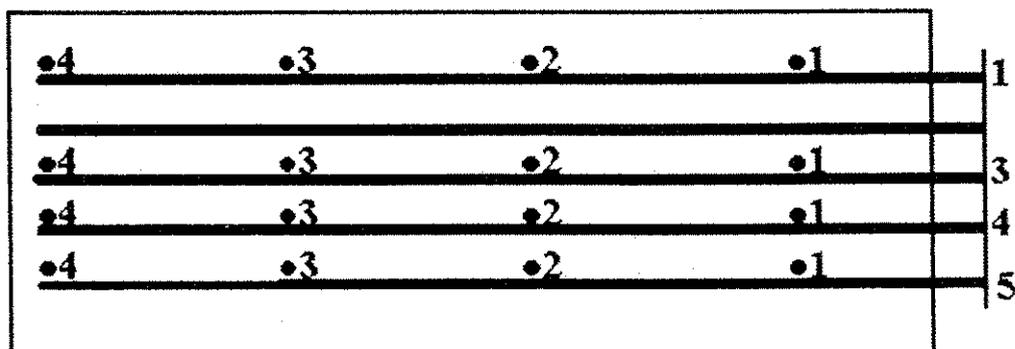
Filtros : Tela : 01 UNIDADE

Areia : 01 UNIDADE

Motobomba      { - Bomba INAPI modelo 6BC; 2.0CV.  
02 (Unidades) { - Motor: WEG modelo D56; trifásico; 2.0CV.

Fonte de energia : Eletricidade.

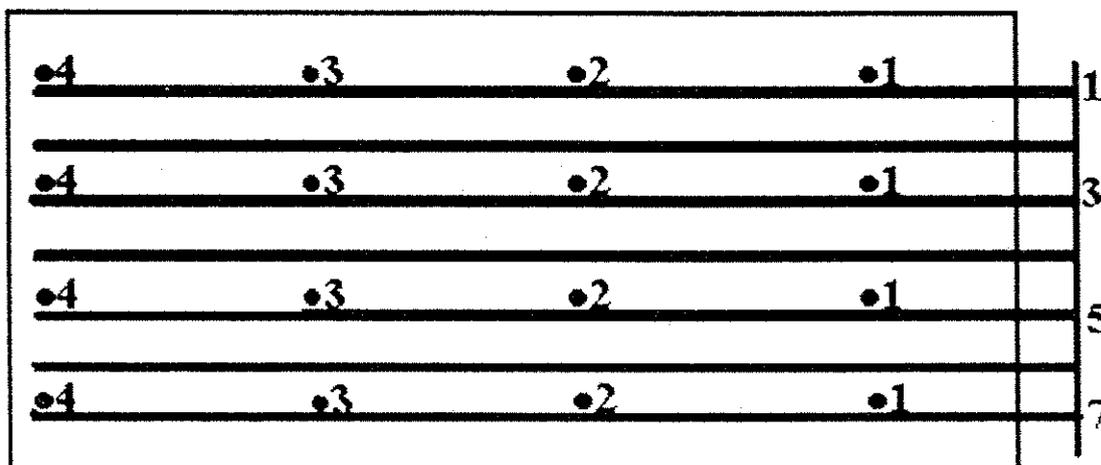
Tabela A-2. Resultado das vazões (ℓ/h) para determinação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), na cultura da uva.



Posição	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Pressão (kPa)	Volume (mℓ)	Vazão (ℓ/h)
1.1	1.1	105,4	378	22,7
1.2	1.0	99,8	338	20,3
1.3	0,9	89,2	360	21,6
1.4	0,8	73,6	310	18,6
3.1	0,9	88,1	380	22,8
3.2	0,8	81,6	363	21,8
3.3	0,7	67,8	342	20,5
3.4	0,6	62,8	345	20,7
4.1	0,8	81,4	369	22,1
4.2	0,8	75,0	358	21,5
4.3	0,7	69,2	352	21,1
4.4	0,7	66,1	340	20,4
5.1	0,8	76,2	308	18,5
5.2	0,7	72,1	303	18,2
5.3	0,7	64,2	303	18,2
5.4	0,6	58,1	300	18,0
Média	0,8	76,9	340	20,4

Posição para realização do teste : 4.2

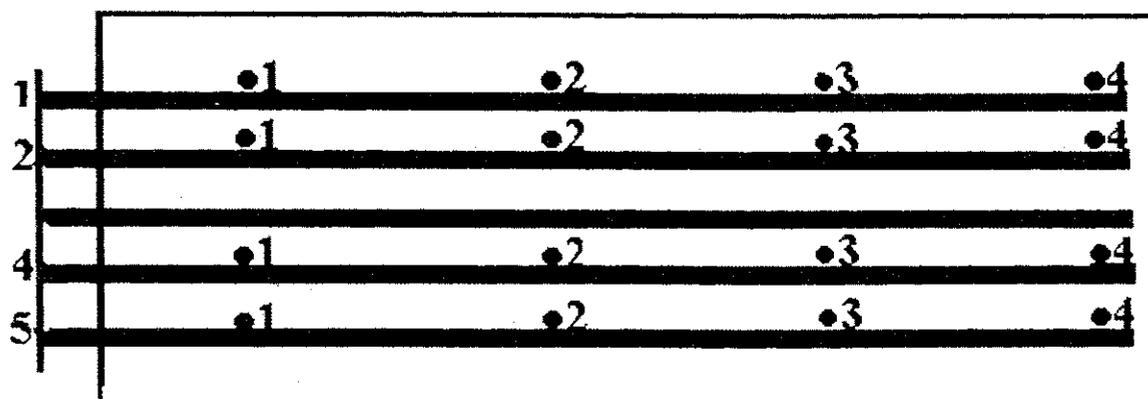
Tabela A-3. Resultado das vazões (ℓ/h) para determinação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), na cultura da manga - Área 2a.



Posição	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Pressão (kPa)	Volume (mℓ)	Vazão (ℓ/h)
1.1	1,2	113,8	383	23,0
1.2	1,1	111,8	370	22,2
1.3	1,1	109,8	367	22,0
1.4	1,1	107,2	353	21,2
3.1	1,7	165,8	468	28,1
3.2	1,0	98,5	350	21,0
3.3	1,0	101,8	368	22,1
3.4	0,7	64,5	265	15,9
5.1	1,7	162,5	470	28,2
5.2	1,6	160,5	453	27,2
5.3	1,6	157,8	466	28,0
5.4	1,6	156,5	453	27,2
7.1	1,5	142,5	428	25,7
7.2	1,5	145,2	443	26,6
7.3	1,5	149,2	438	26,3
7.4	1,6	155,8	335	20,1
Média	1,3	131,7	400,0	24,1

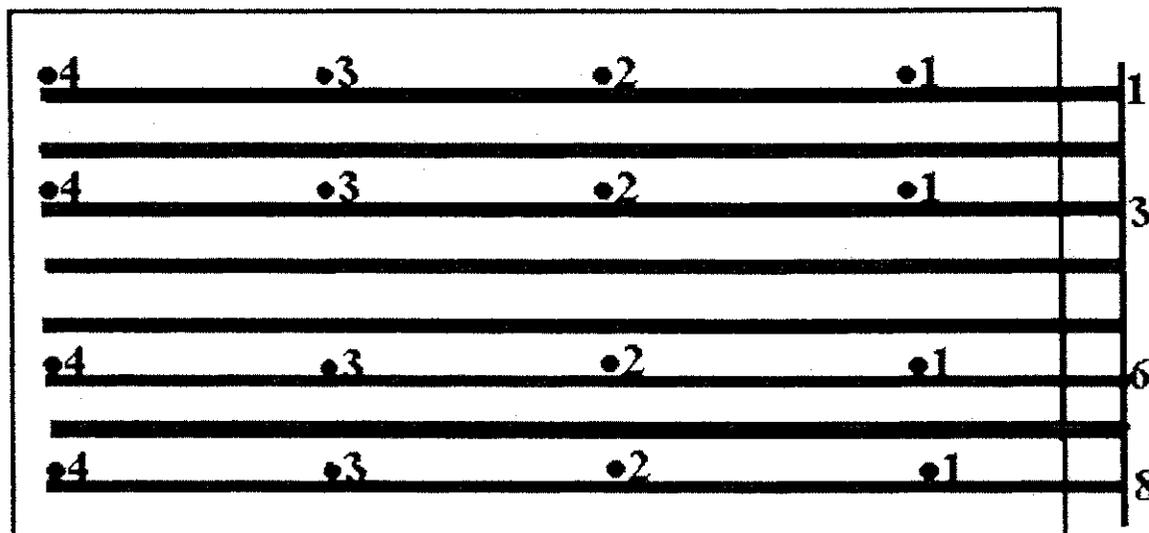
Posição escolhida : 3.2

Tabela A-4. Resultado das vazões (ℓ/h) para determinação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), na cultura da manga - Área 2b.



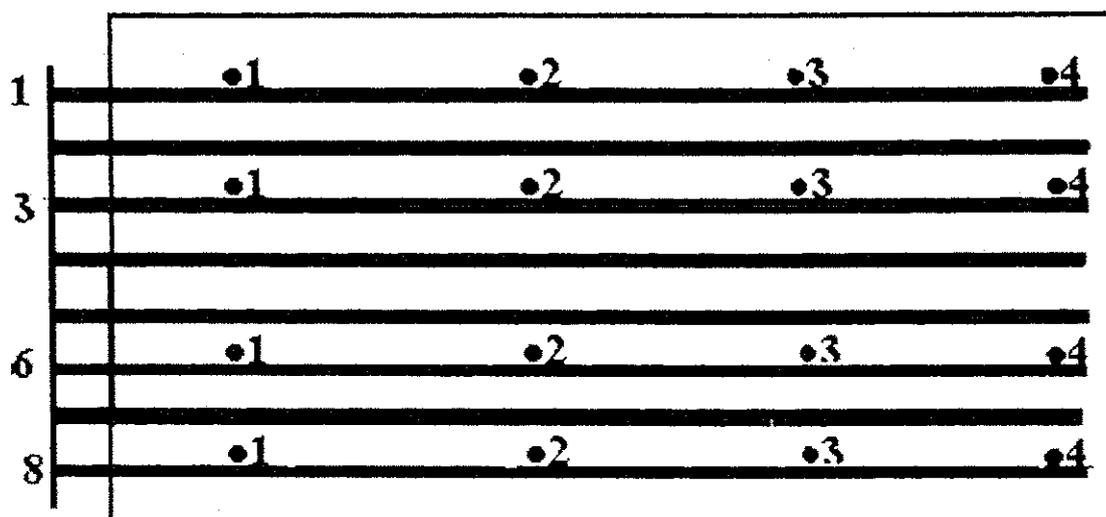
Posição	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Pressão (kPa)	Volume (mℓ)	Vazão (ℓ/h)
1.1	1,0	101,8	365	21,9
1.2	1,1	103,2	361	21,7
1.3	1,1	104,1	368	22,1
1.4	1,1	103,6	385	23,1
2.1	1,2	116,2	382	22,9
2.2	1,1	110,2	390	23,4
2.3	1,1	110,0	378	22,7
2.4	1,1	104,9	378	22,7
4.1	1,2	120,8	412	24,7
4.2	1,2	120,1	410	24,6
4.3	1,2	121,6	412	24,7
4.4	1,3	123,6	407	24,4
5.1	1,4	140,9	422	25,3
5.2	1,4	136,5	425	25,5
5.3	1,4	133,6	412	24,7
5.4	1,4	140,1	425	25,5
Média	1,2	118,2	396,0	23,7

Tabela A-5. Resultado das vazões (l/h) para determinação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), na cultura da graviola - Área 4a.



Posição	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Pressão (kPa)	Volume (m <sup>3</sup> )	Vazão (l/h)
1.1	0,7	72,5	307	18,4
1.2	0,7	69,8	305	18,3
1.3	0,7	65,2	283	17,0
1.4	0,6	60,9	258	15,5
3.1	0,6	60,9	282	16,9
3.2	0,6	58,5	275	16,5
3.3	0,6	58,8	280	16,8
3.4	0,6	58,2	273	16,4
6.1	0,6	57,8	263	15,8
6.2	0,6	55,6	262	15,7
6.3	0,6	54,9	257	15,4
6.4	0,6	54,5	260	15,6
8.1	0,7	63,8	265	15,9
8.2	0,6	59,8	270	16,2
8.3	0,6	59,2	253	15,2
8.4	0,6	57,8	272	16,3
Média	0,6	60,5	273,0	16,4

Tabela A-6. Resultado das vazões (ℓ/h) para determinação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), na cultura da graviola. Área 4b.



Posição	Pressão (kgf/cm <sup>2</sup> )	Pressão (kPa)	Volume (ml)	Vazão (ℓ/h)
1.1	0,8	76,5	207	12,4
1.2	0,8	74,2	277	16,6
1.3	0,8	76,5	270	16,2
1.4	0,7	73,3	290	17,4
3.1	0,8	74,8	298	17,9
3.2	0,8	74,9	308	18,5
3.3	0,8	76,5	268	16,1
3.4	0,8	76,5	303	18,2
6.1	0,7	72,5	302	18,1
6.2	0,7	67,2	242	14,5
6.3	0,7	65,8	285	17,1
6.4	0,7	64,5	275	16,5
8.1	0,7	68,5	267	16,0
8.2	0,7	67,8	282	16,9
8.3	0,7	68,5	268	16,1
8.4	0,7	68,5	265	15,9
Média	0,7	71,7	275,0	16,5

Tabela A-7. Resultado da superposição de precipitação do microaspersor Carborundum MS III, com espaçamento de 2.5m x 4.0m, na cultura da uva.

1.4	2.5	1.6	1.5	0.6	0.3	1.1	1.8	1.4	1.0
3.6	2.0	3.9	1.5	0.8	0.0	1.4	1.0	1.7	3.6
5.8	2.7	3.1	1.9	1.2	0.0	0.0	0.4	1.9	5.5
8.1	3.6	3.4	3.6	0.8	0.7	0.0	0.5	1.6	6.6
4.6	4.8	5.2	2.1	0.7	0.2	0.8	2.5	2.2	2.0
1.0	2.3	2.8	1.0	0.8	0.6	1.7	2.4	2.2	1.7

$$\bar{X} = 2.1\text{mm}$$

$$I_a = 1.1\text{mm/h}$$

Tabela 7a. Valores de precipitação média (mm) e raio efetivo (m) para a cultura da uva do projeto EAFS, 1997.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
1						0,3					
2		0,0	0,0	0,1	1,5	1,6	1,3	2,2	0,3	0,3	0,0
3		0,0	0,0	0,4	2,0	3,3	0,8	1,5	1,3	0,8	0,0
4		0,0	0,5	1,3	5,0	6,2	2,5	1,9	2,2	0,5	0,3
5		0,8	2,2	1,3	1,7	3,1	3,6	4,5	1,7	0,6	0,2
6	0,3	1,7	2,4	2,2	1,7	1,0	2,3	2,8	1,0	0,8	0,3
7		1,1	1,8	1,4	1,0	1,1	2,5	1,6	1,5	0,6	0,3
8		1,4	1,0	1,6	2,1	2,0	0,7	1,7	1,2	0,5	0,0
9		0,0	0,4	1,5	3,5	2,5	1,9	1,6	0,6	0,4	0,0
10		0,0	0,0	0,3	1,6	1,9	1,1	1,5	1,4	0,3	0,4
11		0,0	0,3	0,9	0,3	1,5	1,2	0,7	0,4	0,1	0,0

Tabela A-8. Valores de precipitação média (mm) e raio efetivo (m) para a cultura da manga do Projeto EAFS, 1997.

	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k
1						0,0					
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,4	1,5	0,8	0,3	0,0	
3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	2,0	3,3	2,9	0,9	0,2	
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	3,9	3,4	3,9	3,2	0,7	
5	0,0	0,1	0,3	0,0	0,0	3,4	0,9	3,0	3,8	2,1	
6	0,2	0,3	0,8	0,4	2,2	86,1	1,4	1,9	3,3	2,9	0,0
7	0,1	0,6	1,2	0,7	0,5	3,4	0,8	1,3	2,6	2,3	
8	0,0	0,7	1,0	1,1	0,8	0,5	0,9	1,8	2,5	1,7	
9	0,0	0,1	0,7	1,0	1,1	1,1	1,7	2,6	1,5	0,5	
10	0,0	0,0	0,2	0,5	0,7	1,1	1,3	1,0	0,6	0,3	
11						0,0					

Raio efetivo = 1,6m

X = 1,5mm

Ia = 0,8mm/h

TABELA A-9. Valores de vazão (ℓ/h/planta) do sistema de irrigação por gotejamento para a cultura da goiaba do projeto EAFS, 1997

Linha	Posição								
	Início	2	3	4	5	6	7	8	9
1	4,0	4,4	4,0	4,0	4,6	4,1	4,4	5,3	5,5
2	4,6	4,0	3,7	3,8	3,8	3,9	4,0	3,0	4,0
3	3,8	4,0	3,8	3,8	3,7	4,5	4,0	5,3	4,0
4	4,3	3,5	3,5	4,0	4,0	3,8	3,9	4,0	3,1
5	4,0	3,8	3,6	3,8	4,0	3,8	3,8	3,6	2,4
6	4,0	3,9	3,9	3,8	4,0	4,2	4,0	5,4	2,9
7	3,8	4,1	3,2	4,1	4,2	3,8	3,8	4,0	3,2
8	4,0	3,7	3,9	3,9	3,8	4,0	4,0	4,3	5,5
9	5,9	4,5	4,0	4,5	4,4	4,2	7,1	3,7	3,0

$$\bar{Q} = 4.0 \ell/h/planta$$