

Desempenho da Irrigação por Microaspersão com Diafragma Autocompensante em Bananeira no Projeto de Colonização Gerais de Balsas-MA





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1676-918X

Dezembro, 2001

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 24

Desempenho da Irrigação por Microaspersão com Diafragma Autocompensante em Bananeira no Projeto de Colonização Gerais de Balsas - MA

Juscelino Antonio de Azevedo
César Augusto Rizzi

Planaltina, DF
2001

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Cerrados

BR 020, Km 18, Rod. Brasília/Fortaleza

Caixa Postal 08223

CEP 73301-970 Planaltina - DF

Fone: (61) 388-9898

Fax: (61) 388-9879

http\www.cpac.embrapa.br

sac@cpac.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: *Ronaldo Pereira de Andrade*

Secretária-Executiva: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Membros: *Maria Alice Bianchi, Leide Rovênia Miranda de Andrade, Carlos Roberto Spehar, José Luiz Fernandes Zoby*

Supervisão editorial: *Nilda Maria da Cunha Sette*

Revisão de texto: *Maria Helena Gonçalves Teixeira /
Jaime Arbués Carneiro*

Normalização bibliográfica: *Maria Alice Bianchi*

Tratamento de ilustrações: *Wellington Cavalcanti*

Capa: *Chaile Cherne Soares Evangelista*

Editoração eletrônica: *Leila Sandra Gomes Alencar*

1ª edição

1ª impressão (2001): tiragem 300 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

CIP-Brasil. Catalogação-na-publicação.
Embrapa Cerrados.

A994d Azevedo, Juscelino Antonio de.

Desempenho da irrigação por microaspersão com diafragma autocompensante em bananeira no projeto de colonização gerais de Balsas - MA / Juscelino Antonio de Azevedo, César Augusto Rizzi. - Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2001.

30 p.- (Boletim de pesquisa e desenvolvimento / Embrapa Cerrados, ISSN 1676-918X ; n.24)

1. Irrigação. I. Rizzi, César Augusto II. Título. III. Série

631.587 - CDD 21

© Embrapa 2001

Sumário

Resumo	5
Abstract	6
Introdução	7
Material e Métodos	8
Local de ensaio e características do equipamento	8
Parcela-teste e medidas de pressão e vazão	10
Determinação do percentual de área molhada	10
Determinação do perfil de umidade do solo	11
Determinação da superfície de aspersão	13
Curva de retenção de água	14
Avaliação da tensão de água na zona de raízes	14
Cálculo de parâmetros importantes da avaliação	14
Resultados e Discussão	17
Resultados da avaliação da microaspersão	17
Análise e discussão	17
Conclusões	28
Recomendações	28
Agradecimentos	29
Referências Bibliográficas	30

Desempenho da Irrigação por Microaspersão com Diafragma Autocompensante em Bananeira no Projeto de Colonização Gerais de Balsas - MA

Juscelino Antonio de Azevedo¹

César Augusto Rizzi²

Resumo - Atendendo à demanda da CAMPO (Cia. de Promoção Agrícola) delineou-se este trabalho com o propósito de avaliar o desempenho de um sistema de irrigação por microaspersão no Projeto de Colonização Gerais de Balsas - MA. Com base nas medidas da vazão da água aplicada e da pressão, determinou-se a uniformidade da emissão do sistema, objetivando estabelecer seu grau de aceitabilidade. Testes em microaspersores isolados permitiram comparar perfis de distribuição de água em condições variáveis de vento. Foram ainda determinados o percentual de área molhada, o perfil de umidade do solo, a superfície de aspersão e a tensão de água no solo na zona de raízes nas condições locais de operação. Observando-se os resultados, verificou-se elevada uniformidade de emissão de 97,5%, classificando o sistema como excelente. A eficiência da aplicação da água foi de 87,8%, superando o mínimo recomendável que é de 80%. O percentual da área molhada foi adequado, atingindo 63,5% de área úmida. Até 2 metros do microaspersor, a 20 cm de profundidade do solo, as tensões, variáveis de 30 a 85 kPa, são apropriadas a boas produtividades da bananeira. Além dessas distâncias, as tensões atingem valores limitantes de 400 a 500 kPa.

Termos para Indexação: uniformidade de emissão, microaspersão, Musa sp.

¹ Eng. Agrôn., Dr., Embrapa Cerrados, juscelin@cpac.embrapa.br

² Eng. Agríc., Chefe da Divisão de Irrigação da CAMPO

Performance of Microsprinkler Irrigation Self Compensating in Banana Crop in Colonization Project of Balsas - MA

Abstract - *Based on request from CAMPO (Cia. of Agricultural Promotion) this work was conducted with the purpose of evaluating the performance of the microsprinkler system of localized irrigation installed for banana fruit in PCGEBAL, Balsas-MA. Essential parameters for irrigation management as emission uniformity, application efficiency, percent of wetted area, sprinkling area and soil water tension were determined to aim at acceptance grade, using measurements of flow and pressure and soil physical-hydraulic attributes at projected operation conditions. The results showed that emission uniformity of 97,5% was high, being classified as excellent. The efficiency of water application of 87,8% in the irrigation sub unit was over the minimum recommended of 80% for microsprinkler. The percent of wetted area of 63,5% was adequate for microsprinkler in banana. Soil water tension for good productivity of banana, between 30 and 85 kPa, was recorded until 2 meters of horizontal distance from microsprinkler and from surface until 20 centimeters of soil depth. Beyond these reference distances soil water tension of 400 to 500 kPa are limited for satisfactory yield.*

Index Terms: irrigation, emission uniformity, microsprinkler, Musa sp.

Introdução

Dentre os métodos de irrigação localizada, destacam-se a microaspersão e o gotejamento os quais se caracterizam por aplicar água de forma localizada, não irrigando toda a área possível de ser explorada pela planta, como fazem os métodos por aspersão convencional, autopropelido e pivô-central. A crescente redução de vazão dos mananciais e a elevação dos custos de energia têm motivado a adoção de métodos de irrigação mais eficientes e de custos operacionais mais baixos. Além disso, os métodos de irrigação localizada adaptam-se bem à fruticultura irrigada em virtude dos maiores espaçamentos normalmente utilizados, não exigindo irrigação de toda a área. Por sua vez, os custos mais elevados de aquisição dos equipamentos de microaspersão e de gotejamento, em comparação com outros métodos de irrigação são compensados pelos maiores retornos econômicos que os pomares propiciam, em relação às culturas de grãos. Essas vantagens explicam o maior crescimento no uso da irrigação localizada, comparativamente a outros métodos de irrigação na Região Centro-Oeste que passou de 1350 ha em 1996 para 9408 ha em 1999 ([Lima et al., 1999](#)), embora esse número seja ainda pequeno, representando apenas 4,7% da área total irrigada na região.

O sistema de microaspersão caracteriza-se por aplicar água na forma de gotas aspergidas sobre a superfície do solo, via microaspersores, os quais podem ser espaçados para cobrir toda a área de terreno, como na aspersão convencional ou, como é mais comum, apenas uma parte da área como outros métodos de irrigação localizada. As vazões dos emissores são maiores que no gotejamento e menores que na aspersão convencional, variando de 15 a 200 L/h, sendo mais comuns valores abaixo de 115 L/h. A pressão apropriada para operação varia de 35 a 300 kPa e o diâmetro de alcance do jato de água situa-se entre 2 a 9 m. ([James, 1988](#)).

O rendimento das culturas pode ser sensivelmente afetado pela uniformidade da distribuição de água e por isso ela deve ser considerada como um dos fatores mais importantes no dimensionamento e manejo da irrigação. Em qualquer método de irrigação, a uniformidade da distribuição de água determina conseqüências importantes na economia do projeto. Valores baixos de uniformidade resultam, geralmente, em maiores consumos de água e de energia, maior perda de nutrientes e, além disso, podem causar deficiência hídrica nas plantas, em proporção significativa da área irrigada ([Scaloppi & Dias, 1996](#)). A uniformidade de irrigação afeta a eficiência de aplicação de água. Entre os sistemas de irrigação, a localizada apresenta maiores valores de eficiência de aplicação de

80% a 90%, bem superiores às faixas de 60% a 80% e de 50% a 70%, dos sistemas por aspersão e por superfície, respectivamente ([Keller & Bliesner, 1990](#)).

Muitas causas podem ser atribuídas à baixa uniformidade de distribuição de água. Para efeito de avaliação de sistemas de irrigação já instalados, [Bralts & Kesner \(1983\)](#) agrupam as causas em duas classes: hidráulicas - todas aquelas que afetam a pressão de operação dos emissores, podendo ser oriundas de um projeto mal concebido, da falta ou desajuste de reguladores de pressão, elevada perda de carga, etc.; baixa uniformidade de emissores em virtude do alto coeficiente de variação de fabricação ou da obstrução dos emissores.

Este trabalho foi conduzido na área plantada com a cultura da bananeira, no Projeto de Colonização Gerais de Balsas - PC- GEBAL no Estado do Maranhão, com o propósito de avaliar a uniformidade de emissão de água e outros parâmetros básicos em um sistema de irrigação por microaspersão com diafragma autocompensante.

Material e Métodos

Foi empregado o método de avaliação recomendado na publicação original de [Merriam & Keller \(1978\)](#). Tal método consiste em avaliações, em condições de campo, da vazão e da pressão de emissores, localizados em quatro linhas laterais, correspondentes a quatro posições na linha secundária de determinada subunidade do sistema de microaspersão. A parcela avaliada foi escolhida no interior da área total do projeto, assumindo ser representativa das condições de pressão média do sistema.

Local do ensaio e características do equipamento

O ensaio foi realizado no lote 37 do projeto PC-GEBAL cuja área irrigada totalizava 59,5 hectares, sendo 50,0 ha irrigados por pivô-central e 9,5 ha por microaspersão ([Figura 1](#)), atendidas por um mesmo conjunto de motobomba diesel, porém com funcionamento intercalado. A área com microaspersão é atendida por uma derivação na adutora que alimenta o pivô e irriga toda a área de microaspersão simultaneamente, controlando a abertura e o fechamento dos dois registros.

O método de irrigação por microaspersão avaliado usava emissores fixos, com dispositivo do tipo "bailarina" da marca Netafim, modelo Supernet LR 70, autocompensante, espaçados de 8 metros entre as linhas laterais de irrigação e de 4,8 metros entre emissores na linha lateral. O plantio do bananal era de forma triangular em distâncias de 4 m entre linhas e 2 m entre plantas na linha.

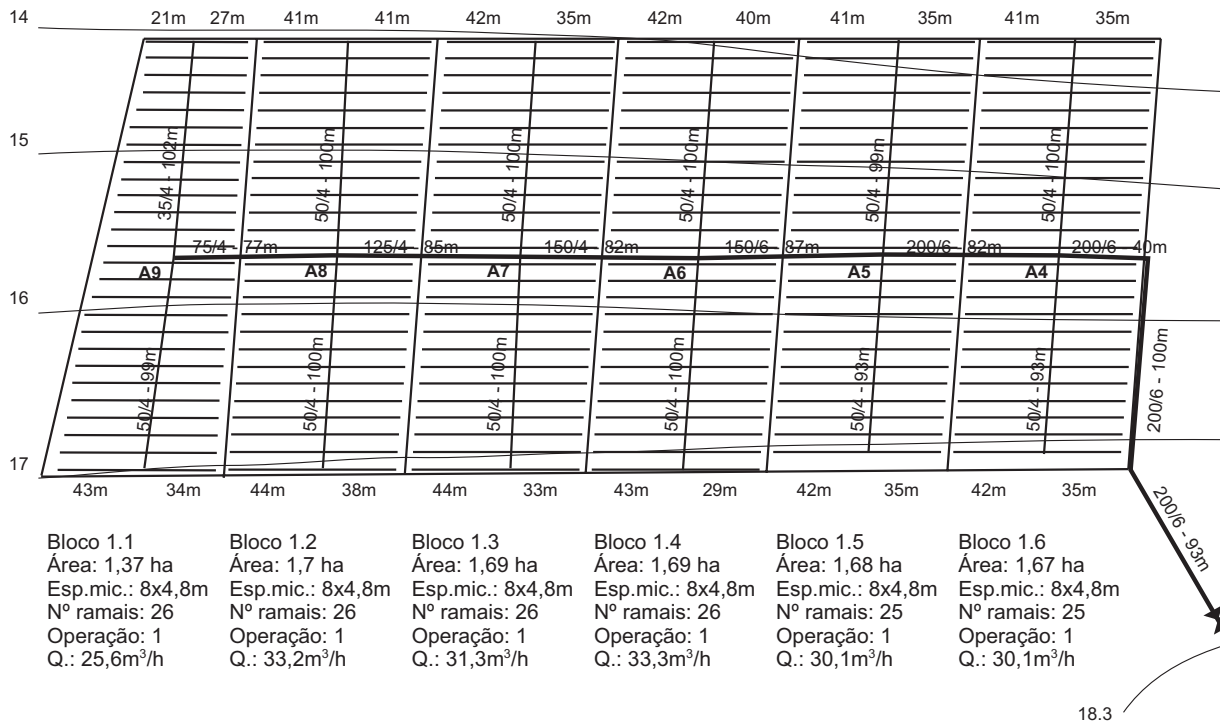


Figura 1. Planta-baixa do projeto de irrigação do lote nº 37.

Fonte: Netafin.

Parcela-teste e medidas de pressão e vazão

No interior da área de 9,5 ha onde se estabeleceu o projeto, foi selecionado o bloco identificado como 1.4, com uma área de 1,69 ha, constituída de duas parcelas alimentadas por 2 linhas secundárias. Essa seleção, teve como finalidade obter uma parcela-teste cujas pressões e fluxos estivessem equilibrados em relação às posições extremas da área do projeto global mostrado na planta-baixa ([Figura 1](#)).

Inicialmente, foram verificadas as pressões de operação do conjunto motobomba e de entrada e saída do filtro de tela (6" de diâmetro e 120 mesh, da marca Eli), bem como procedida a limpeza do filtro de tela. Em seguida, foram verificadas as leituras de pressão na entrada de 12 linhas secundárias, correspondentes a seis blocos da área total de irrigação.

No bloco 1.4 ([Figura 1](#)), foram escolhidas quatro linhas laterais de irrigação (diâmetro de 16 mm), localizadas nas posições referentes à linha secundária de 101 metros de comprimento (diâmetro 50 mm): início, 1/3 do comprimento, 2/3 do comprimento e final. Nas quatro linhas laterais, selecionadas, efetuaram-se as leituras de pressão e de vazão dos microaspersores, localizados nas posições referentes à linha lateral de aproximadamente 42 metros de comprimento: início, 1/3 do comprimento, 2/3 do comprimento e final. Dessa forma, foram realizadas 16 medidas, conforme ilustrado planta-baixa ([Figura 2](#)).

As medidas de vazão foram tomadas no primeiro, terceiro, sexto e nono microaspersores de cada linha lateral selecionada, medindo diretamente o volume de água numa proveta graduada com precisão de 10 mL, em um tempo fixo de 1,5 minutos. As leituras de pressão foram tomadas com manômetro de precisão, introduzido diretamente na saída do microtubo de conexão do microaspersor.

Determinação do percentual de área molhada

Como todos os blocos do sistema de irrigação eram irrigados simultaneamente, com um mesmo período de funcionamento (quatro horas), selecionaram-se duas áreas de 8 m² (4 x 2 m) em outro bloco, correspondentes à área de influência de duas plantas de bananeira para avaliar esse parâmetro. Passadas 12 horas do término da irrigação, retirou-se o solo de uma camada de 22 cm relativo ao maior diâmetro de molhamento. Em seguida, desenhou-se, em papel milimetrado, o perfil de molhamento da água infiltrada no solo e calcularam-se as respectivas porcentagens da área seca e da molhada ([Figura 3](#)).

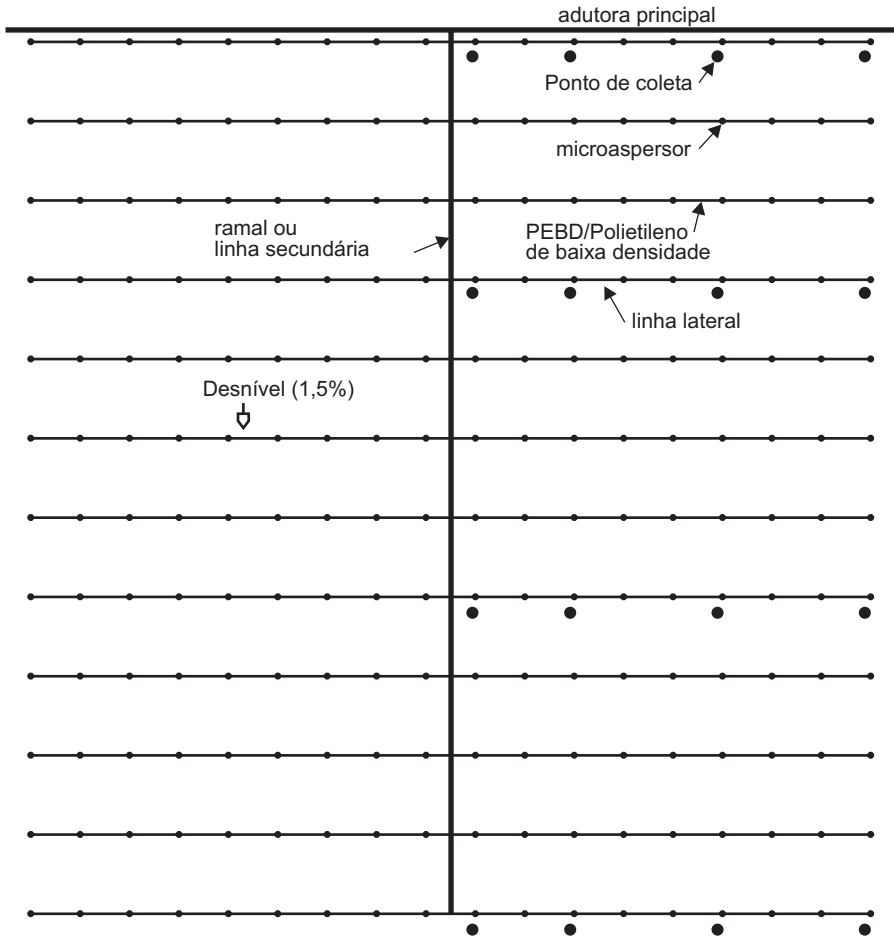


Figura 2. Planta-baixa de coleta da vazão e da pressão no bloco 1.4.

Determinação do perfil de umidade do solo

Passadas 12 horas do fim da irrigação, utilizando-se duas trincheiras, foram obtidas amostras de solo para determinação gravimétrica do conteúdo de água. Uma trincheira foi aberta no sentido transversal da linha de plantio, entre duas plantas de banana em duas fileiras; a outra, transversalmente, entre duas linhas laterais de irrigação, entre dois microaspersores, sendo as amostras coletadas nas profundidades de 10 em 10 cm até 50 cm e nas posições de 1 em 1 m até 4 m, correspondente à metade do espaçamento entre as linhas laterais conforme esquematizado na [Figura 4](#).

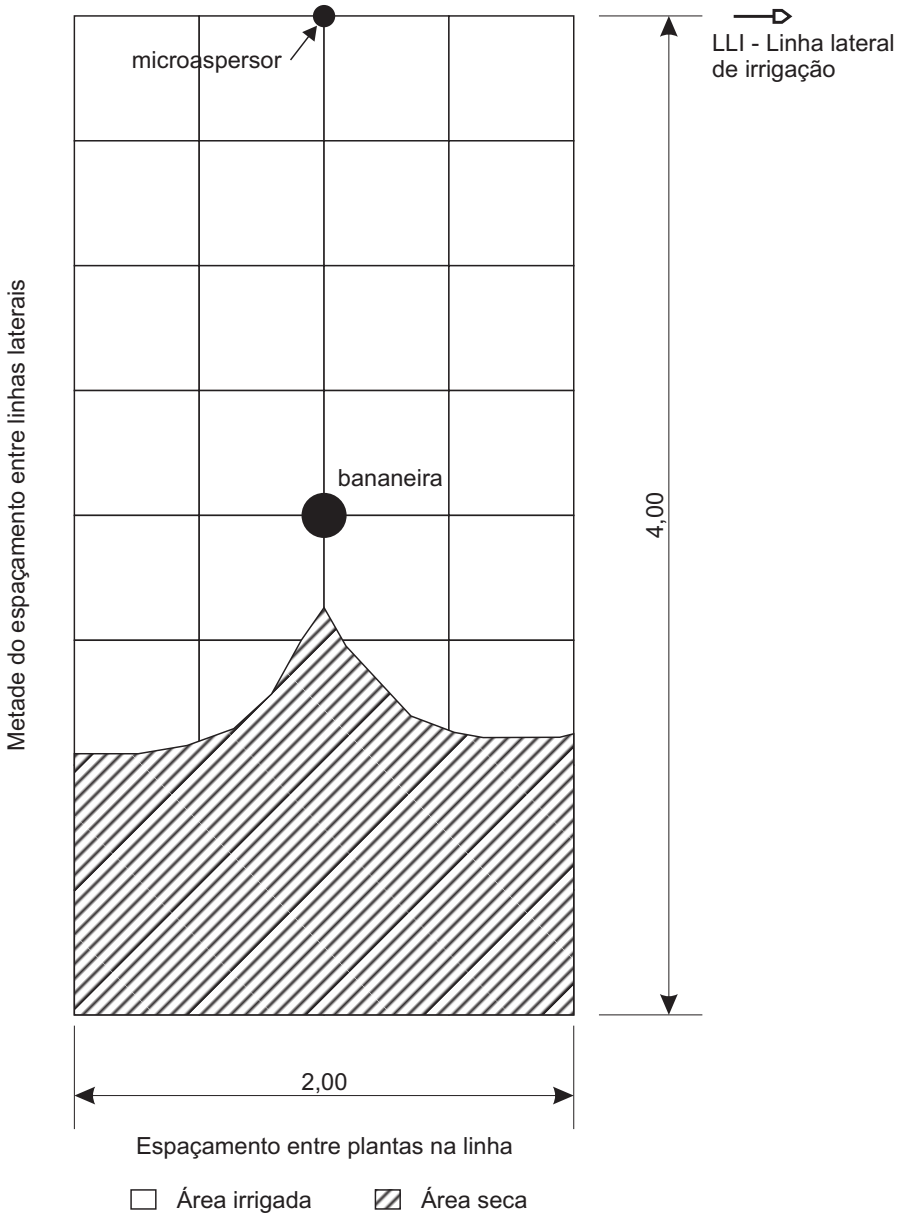


Figura 3. Superfície de molhamento correspondente à área de influência de uma planta de bananeira no espaçamento de 4 x 2 m.

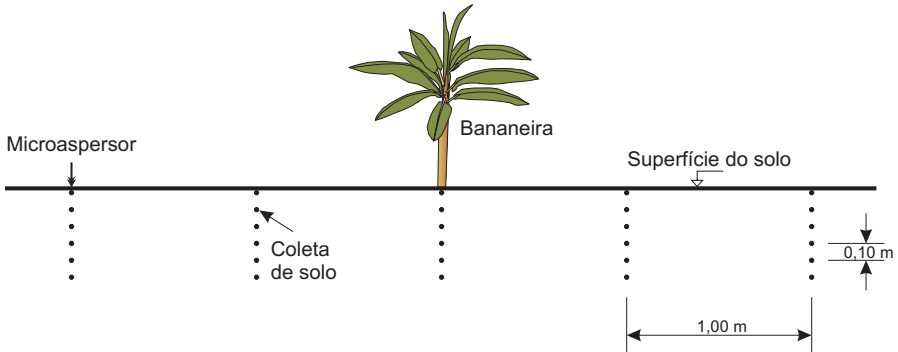


Figura 4. Avaliação do perfil de umidade do solo em 6 profundidades de solo e 5 posições correspondentes à metade do espaçamento entre microaspersores na linha lateral de irrigação.

Determinação da superfície de aspersão

Utilizando-se de coletores espaçados de 0,5 metros, em 8 raios irrigados, nos sentidos norte, sul, leste, oeste e intermediários, foram medidas as precipitações de três microaspersores individuais, localizados nas posições superior, média e inferior, em relação à topografia da área, com o propósito de compará-las com o perfil-padrão, estabelecido pelo fabricante, usado como referência para o dimensionamento.

Realizaram-se também dois ensaios para avaliação da distribuição da água aplicada pelos microaspersores, em relação à disposição das plantas de bananeira no terreno, em uma área correspondente ao recobrimento dos jatos de água, entre duas linhas laterais de irrigação. Para isso, foi selecionada uma área-teste com 10 x 8 m, no interior da área do projeto, de forma a se obter uma parcela-teste cujas pressões e fluxos estivessem equilibrados em relação às posições extremas do projeto global. Inicialmente, o terreno da área-teste foi nivelado para facilitar a colocação dos coletores em um mesmo plano para evitar problemas de interceptação do jato d'água do microaspersor pelos camalhões de solo, formados na operação de preparo para o plantio. A água aspergida foi coletada em coletores plásticos de 8 cm de diâmetro, dispostos em uma malha de 1 x 1 m de espaçamento na área de influência de seis microaspersores, sendo três deles, localizados em cada uma das duas linhas laterais escolhidas. Foram ainda colocadas quatro linhas de coletores nas extremidades da área-teste e no alinhamento dos emissores para possibilitar a determinação dos perfis de distribuição de água nos sentidos transversal e longitudinal conforme a configuração de distribuição dos coletores, totalizando 116 coletores, sendo 80

para o estudo de sobreposição da água aspergida e 36 para avaliação do perfil de umedecimento longitudinal e transversal. A duração de cada teste compreendeu um período de quatro horas de funcionamento, obedecendo ao tempo de irrigação do projeto para reposição da lâmina diária crítica.

Salienta-se que, durante a realização do segundo teste, ocorreram velocidades de vento muito elevadas, de 4,5 m/s acima da média mensal (1,7 m/s), determinando o deslocamento da superfície de aspersão no sentido do vento, em cerca de 1 m em relação ao teste realizado com pouco ou nenhum vento.

Curva de retenção de água

Usando-se amostras de solo com estrutura indeformada, coletadas nas profundidades de 7,5; 17,5 e 27,5 cm, efetuou-se, em laboratório, a determinação das relações entre tensão e conteúdo de água do solo desde 0,06 até 15 atm, usando o método da centrífuga no Laboratório de Análises Físico-Hídricas da Embrapa Cerrados. Esses dados visam a subsidiar a elaboração de tabelas de reposição de lâminas de irrigação para manejo futuro. Por exemplo, usando-se tensiômetros, é possível estabelecer os momentos e as quantidades de irrigação na camada de 0 a 35 centímetros de profundidade na qual se localiza a maior porcentagem do sistema radicular da bananeira.

Avaliação da tensão de água na zona de raízes

No lote 14, em bananal mais desenvolvido, foram instaladas três baterias de tensiômetros, com o propósito de avaliar a magnitude das tensões no perfil de solo ocupado por raízes, depois da aplicação da dotação de regas estabelecidas no projeto. Foram instalados nas profundidades de 10, 20 e 30 cm e nas distâncias de 10, 20 e 30 cm a partir de 25 cm do tronco da bananeira.

Cálculo de parâmetros importantes da avaliação

A metodologia de cálculo é indicada em seguida, com os dados do projeto, conforme o procedimento recomendado por [Merriam & Keller \(1978\)](#).

a) Descarga do sistema

Soma das vazões de cada um dos seis blocos em funcionamento simultâneo:

$$(25,6 + 33,2 + 31,3 + 33,0 + 30,1 + 30,1) = 183,7 \text{ m}^3/\text{h}$$

b) Pressão média dos microaspersores nos pontos de medida na parcela-teste (Pmm)

Pmm =

$$(3,0+2,8+2,65+2,65+2,5+3,0+3,0+3,0+3,1+3,1+3,0+3,0+3,0+3,0+3,0) / 16$$

$$Pmm = 2,93 \text{ kgf/cm}^2$$

c) Vazão média nos microaspersores da linha secundária a 2,93 kgf/cm²

Secundária: soma das vazões médias/n.º de medidas = 1155,2 / 16 = 72,2 L/h

Menor 1/4: soma menores vazões(1/4)/n.º de leituras(1/4) = 281,6 / 4 = 70,4 L/h

d) Pressão média em 12 linhas secundárias (Pms)

$$Pms = (3,2+3,3+3,1+3,1+3,1+3,1+2,9+2,9+2,9+2,9+2,6+2,6) / 12$$

$$Pms = 2,98 \text{ kgf/cm}^2$$

e) Fator de correção da vazão (FCQ) do sistema

$$FCQ = 2,5 \times Pms / (Pms + 1,5 \times Pmm) = 2,5 \times 2,98 / (2,98 + 1,5 \times 2,93) = 1,0102$$

f) Vazões médias ajustadas nos pontos de emissão a 2,98 kgf/cm²

Q sistema = FCQ x média das vazões da secundária = 1,0102 x 72,2 L/h

$$Q \text{ sistema} = 72,9364 \text{ L/h}$$

Q menor 1/4 = FCQ x média das menores vazões (1/4) = 1,0102 x 70,4 L/h

$$Q \text{ menor } 1/4 = 71,1181 \text{ L/h}$$

g) Uniformidade de emissão (UE)

UE = (n.º de plantas/micro x Q menor 1/4 / n.º de plantas/micro x Q sistema) x 100

$$UE = (0,2 \times 71,1181 / 0,2 \times 72,9364) \times 100$$

$$UE = 97,5 \%$$

h) Área umedecida por planta (P)

Pelos dados contidos na [Figura 3](#), em escala, obtêm-se, para a área seca, 2,923 m² (média de 2 repetições)

$$P = \{1 - (\text{área seca} / \text{área de uma planta})\} \times 100 = \{1 - (2,923 / 8)\} \times 100$$

$$P = 63,5 \% \text{ (equivalente a } 5,08 \text{ m}^2\text{)}$$

i) Profundidade média de aplicação em relação à área úmida (Dmu)

$$Dmu = (Q \text{ sistema} \times n.^{\circ} \text{ pontos de emissão por planta} \times \text{horas de operação}) / P$$

$$Dmu = (72,9364 \times 0,2 \times 4) / 5,08$$

$$Dmu = 11,5 \text{ mm}$$

j) Profundidade média de aplicação em relação à área de influência da planta (Dmp)

$$Dmp = (Q \text{ sistema} \times n.^{\circ} \text{ pontos de emissão por planta} \times \text{horas de operação}) / \text{Esp. plantio}$$

$$Dmp = (72,9364 \times 0,2 \times 4) / 4 \times 2$$

$$Dmp = 7,3 \text{ mm}$$

k) Volume ajustado por dia por planta (Vap)

$$Vap = (Q \text{ sistema} \times n.^{\circ} \text{ pontos de emissão por planta} \times \text{horas de operação}) / \text{Frequência de irrigação}$$

$$Vap = (72,9364 \times 0,2 \times 4) / 1$$

$$Vap = 58,3 \text{ L/dia.planta}$$

l) Eficiência de aplicação potencial (EAP)

$$EAP = 0,9 \times UE$$

$$EAP = 0,9 \times 97,5$$

$$EAP = 87,8 \%$$

m) Profundidade mínima aplicada geral (Dmg)

$$Dmg = Dmp \times EAP / 100$$

$$Dmg = 7,3 \times 87,8 / 100$$

$$Dmg = 6,4 \text{ mm}$$

Resultados e Discussão

Resultados da avaliação da microaspersão

Local: Lote 37 - Projeto de Colonização Gerais de Balsas - PRODECER III- Balsas - MA.

Período: Dados de campo 2 a 4/8/99. Laboratório: 6 a 26/8/99.

Cultura: Bananeira, variedade Prata-anã; Idade: 2 meses; Espaçamento: 4 x 2 m.

Profundidade das raízes: 20 cm; Porcentagem da área coberta: 2% a 3%.

Solo: Latossolo Vermelho-Amarelo, argilo-arenoso; Umidade disponível: 1,08 mm/cm.

Irrigação: Duração: 4 h; Frequência: 1 dia; Lâmina bruta: 7,4 mm.

Pressão no filtro; 3,8 kgf/cm² (entrada); 3,5 kgf/cm² (saída); Perda: 0,3 kgf/cm².

Emissor: Netafim; Tipo: Supernet, Autocompensante/bailarina;

Espaçamento: 4,8 m.

Descarga por ponto de emissão: 70 L/h.

Pontos de emissão por planta: 0,2 (5 plantas/micro); Suprindo: 56 L/dia/planta.

Linha lateral: diâmetro: 16 mm; material: polietileno de baixa densidade.

Comprimento médio: 40 m; Espaçamento: 8 m.

Análise e discussão

Várias observações e algumas recomendações podem ser feitas, baseando-se nas avaliações de campo e laboratório analisadas a seguir:

Pressão

As diferenças de pressão nas linhas secundárias em operação foram pequenas. A média registrada em 12 linhas secundárias foi de 2,98 kgf/cm², com um desvio-padrão de apenas 0,22 kgf/cm² e, portanto, muito próximo dos 3,0 kgf/cm², estabelecidos como pressão de serviço do projeto. As variações percentuais em torno da média foram de apenas 5,7%, enquanto a maior variação encontrada entre os extremos avaliados foi de 3,3 e 2,6 kgf/cm², representando 21,2% de variação na pressão, determinando uma variação de fluxo próximo de 10%, portanto dentro do limite aceitável. Essa seria a variação caso os emissores não dispusessem do diafragma autocompensante os quais permitissem vazões similares no intervalo de pressão entre 1,5 a 4,5 kgf/cm².

As pressões nos micros, registradas na Tabela 1, apresentam média de 2,93 kgf/cm² com variação de 14,5% quando se consideram as medidas extremas e de apenas 4,5% em torno da média. Essa variação, embora reduzida, poderia ter sido ainda menor caso não ocorressem, durante as medições, obstruções com limo no sistema de filtragem, provenientes da captação de água feita em um canal de chamada. Mesmo assim, registrou-se média de pressão nos microaspersores próxima da média de pressão das linhas secundárias não comprometendo o desempenho do sistema.

Como conseqüência da uniformidade satisfatória de pressões, tanto nas linhas secundárias quanto nas laterais de irrigação, constata-se excelente uniformidade de vazão com variações de aproximadamente 7% em relação a medidas extremas e de apenas 1,6% em torno da média pelos dados de vazão da Tabela 1.

Tabela 1. Avaliações de pressão (kgf/cm²) e vazão (L/h) nos microaspersores contidos na parcela selecionada da subunidade de irrigação.

Localização na linha lateral	Parâmetros	Localização da lateral na linha secundária			
		Início (1)	1/3 do comp.	2/3 do comp.	Final
Início	Vazão	72,0	69,2	74,4	74,0
	Pressão	3,0	2,5*	3,1	3,0
1/3 do comp.	Vazão	72,4	72,4	70,8	73,6
	Pressão	2,8	3,0	3,1	3,0
2/3 do comp.	Vazão	72,8	71,2	71,2	72,8
	Pressão	2,65	3,0	3,0	3,0
Final	Vazão	70,4	72,4	71,2	74,4
	Pressão	2,65	3,0	3,0	3,0

Observações: *Limpeza do filtro de tela;

¹Cota mais elevada que a posição final.

Uniformidade

A uniformidade de emissão de água expressa como UE através das linhas secundárias, em operação, alcançou o valor de 97,5% considerado excelente. Isso determina uma eficiência de aplicação potencial (EAP) estimada de 87,8% para o bloco de linhas secundárias testadas, representando uma amostra com valor de EAP muito bom para a EAP geral do sistema.

Topografia

As diferenças em elevação topográfica via sistema não foram extremas em virtude de o terreno apresentar declividades regulares em torno de 1,5%.

Assim presume-se que outras linhas secundárias, além das doze nas quais as pressões foram medidas, devam apresentar uniformidades semelhantes às áreas de projeto testada.

Porcentagem da área molhada (P)

A porcentagem da área molhada (P), foi praticamente a mesma nas duas avaliações feitas no campo, encontrando-se o valor de 63,5% de área úmida. Esse resultado, quando comparado com a área inteira cultivada, depende da vazão de cada ponto de emissão, do espaçamento dos emissores e do tipo de solo irrigado. No sistema de gotejamento, a área molhada pelos pontos de emissão é, em geral, muito pequena na superfície do solo; no de microaspersão, essa área é maior em relação à de influência de cada microaspersor. Nenhum valor simples ou apropriado tem sido estabelecido para esse parâmetro nas condições do projeto avaliado. Contudo, pode-se concluir que sistemas com alto valor de "P" propiciam mais água armazenada, o que representa importante fator de proteção no caso de falha do sistema de irrigação por qualquer motivo: falta de energia, necessidade de reparos em filtros e tubulações, suspensão de irrigação para execução de outras práticas como colheitas e cultivos etc. Por sua vez, a maior capacidade de armazenamento da água, dada pelo maior valor de "P", permite maior flexibilidade na programação de irrigações e, o mais importante, aumenta a área do solo com condições favoráveis de umidade que eleve as taxas de absorção de nutrientes essenciais, aplicados por métodos convencionais ou via água de irrigação. Segundo [Merriam & Keller \(1978\)](#) um dos objetivos no dimensionamento é obter, para áreas áridas, um valor mínimo de área molhada de 1/3 ($P = 33\%$) até metade da área cultivada ($P = 50\%$). Em regiões que recebem considerável quantidade de chuva suplementar, valores próximos a 20% são aceitáveis. Esse, entretanto, não é o caso do PC- GEBAL instalado em uma região cujo período seco é de cinco meses e na qual se registra apenas 6,4% da precipitação anual efetiva. Por sua vez, para culturas mais largamente espaçadas como a da bananeira podem ser permitidos valores de "P" entre 50% e 60%, pois uma das principais vantagens da irrigação por microaspersão é de manter uma faixa relativamente seca entre as fileiras das plantas para a realização de práticas culturais e para reduzir as perdas de água por evaporação. Pode-se comentar ainda que os custos de capital aumentam quando uma grande área coberta pela irrigação é permitida, determinando que benefícios econômicos atinjam somente pequena porcentagem.

Na Figura 5, observam-se os valores do conteúdo da água do solo, medidos por gravimetria em relação à profundidade do solo e entre o espaçamento das linhas laterais de irrigação (8 m), cobrindo a área correspondente a duas fileiras de bananeira. Por esses valores, percebe-se que a área mais seca, com teores de água no solo entre 12,0% e 16,5% localiza-se na faixa intermediária de terreno de 2 metros entre a distância de 8 metros das linhas de microaspersores.

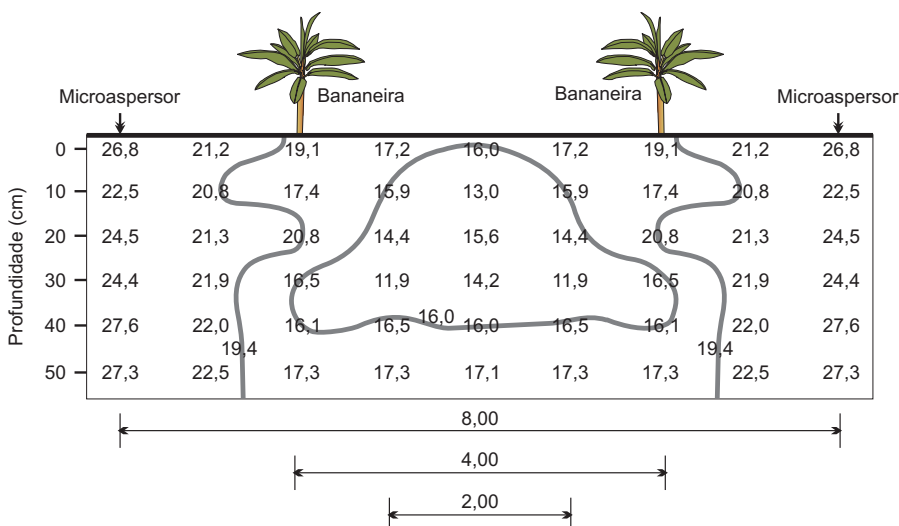


Figura 5. Conteúdo de água no solo (% em volume) entre microaspersores de duas linhas laterais de irrigação.

De fato, ao avaliar os potenciais mátricos (tensão), contidos na [Tabela 2](#), associados com os teores de água no solo, verifica-se que as tensões a 3 m do microaspersor atingem valores elevados entre 4 a 15 atmosferas, à exceção das medidas na superfície do solo e a 50 cm de profundidade que apresentaram valor de 0,90 atmosfera. A quatro metros do microaspersor, as tensões registradas em todas as profundidades não são adequadas à cultura da bananeira. Embaixo do microaspersor, o solo encontra-se praticamente na capacidade de campo. A um metro de distância do micro, passadas 8 horas do término da irrigação e da redistribuição da umidade, constata-se que tensões baixas entre 0,20 a 0,30 atmosfera ocorrem até 20 cm de profundidade e 0,10 e 0,09 nas profundidades inferiores. Ainda a 2 metros do microaspersor até a profundidade de 20 cm do solo, registram-se tensões entre 0,33 e 0,85 atmosferas dentro da faixa de atuação do tensiômetro e com disponibilidade

satisfatória de água no solo até 0,33 atm de tensão. Nessa distância de 2 metros do micro, percebe-se, contudo, que nas profundidades de 30 e 40 cm, forma-se uma camada de solo com muito pouca água disponível com tensões de 4,3 e 5,0 atmosferas.

Tabela 2. Potenciais mátricos (atm), avaliados indiretamente pela gravimetria e curva de retenção de água em relação à profundidade do solo e à distância do microaspersor.

Profundidade do solo (cm)	Potenciais mátricos obtidos em diferentes posições do microaspersor				
	Abaixo	A 1 metro	A 2 metros	A 3 metros	A 4 metros
0	-0,06	-0,20	-0,35	-0,91	-6,40
10	-0,15	-0,24	-0,85	-9,00	> -15,00
20	-0,08	-0,30	-0,33	-15,00	-14,00
30	-0,06	-0,10	-4,33	> -15,00	-15,00
40	< -0,06	-0,09	-5,00	-4,30	-7,20
50	< -0,06	-0,09	-0,90	-0,90	-1,0

Assim, pode-se considerar que, em função da ocorrência até 2,5 m de cada lado do microaspersor de uma faixa de tensões favoráveis à obtenção de boas produtividades, desde a capacidade de campo (0,06 atm) até 0,6 atm na camada de zero a 20 cm de profundidade, fica determinada uma área úmida de 5/8 da área de influência de uma planta. Isso corresponde a um valor de P de 62,5% muito próximo dos 63,5% determinados no campo e avaliados graficamente. Embaixo do microaspersor, a 1 m de distância até 50 cm e a 2 metros do micro até 20 cm de profundidade podem-se esperar produtividades máximas da bananeira por causa da água (potenciais mátricos bem baixos). Essas condições de potencial mátrico certamente irão concorrer para a maior concentração de raízes da bananeira na faixa de solo de 5 metros entre os 8 metros disponíveis para crescimento horizontal.

A faixa seca de solo de 3 a 8 metros pode ser observada também nas [Figuras 6 e 7](#) (superfície de distribuição da água aspergida) em que se constata que os valores de água coletadas com recobrimento de jatos abaixo de 7 mm situam-se na faixa de 3 m de largura (2,5 a 5,5 m do microaspersor da esquerda ([Figura 6](#)) e 3,5 a 6,5 m do microaspersor da esquerda ([Figura 7](#)). No caso da superfície de aspersão não alterada pelo vento ([Figura 6](#)), constata-se que a área mais seca (lâmina < 7 mm) é intermediária à distância de 8 metros entre microaspersores,

determinando um percentual de 38% de área seca já comprovada pelo perfil de conteúdo de água gravimétrico ([Figura 3](#)). O percentual da área recoberta pela irrigação, com precipitações entre 4 e 8 mm/dia, intervalo que inclui a necessidade hídrica diária da bananeira, correspondeu a 47,7% no teste com pouco ou nenhum vento e 38,1% no teste com ventos próximos de 4,5 m/s conforme pode ser notado nas [Figuras 6 e 7](#). Nessas mesmas figuras, obtidas depois dos testes de recobrimento da irrigação, verifica-se que no teste em que houve influência de ventos fortes ([Figura 7](#)) a área mais seca entre as linhas laterais de irrigação ficou deslocada mais 1 metro na direção do vento em relação ao teste de ventos moderados ([Figura 6](#)).

Estima-se que, mesmo na época de chuvas, a concentração preferencial de raízes, nessa faixa de 5 metros, irá predominar em razão da frequência diária de irrigação com dotação adequada de lâmina de irrigação, bem como da fertirrigação localizada e das irrigações suplementares nas épocas de veranicos.

A formação de um bulbo de molhamento, com condições ótimas de tensão de água no solo, em torno da bananeira, pode ser constatada também pelas leituras de tensiômetros que foram instalados em três posições da área irrigada por microaspersão (parte inferior esquerda, média, próximo ao sistema de filtragem e parte direita no extremo final da área) e em três profundidades de solo (10, 20 e 30 cm), afastados de 25 cm do tronco e de 10 cm entre os tensiômetros conforme apresentado na [Tabela 3](#). Esse teste foi realizado no lote vizinho (lote 14) em condições de solo similares. Esse lote foi escolhido em virtude de a bananeira estar em estágio mais avançado de desenvolvimento, esperando-se, portanto, uma possibilidade maior de extração da água. Os dados de tensão foram lidos diretamente dos instrumentos cujas medidas podem ser comparadas com as do lote-teste obtidas em laboratório.

Pela [Tabela 3](#), verifica-se que até 45 horas depois de uma irrigação de quatro horas (7 mm) as leituras revelam tensões bem baixas entre 5 a 11 cbar, próximas da capacidade de campo. Salienta-se que o manejo da irrigação, adotado pelo colono, recomendado no projeto, compreende irrigação diária com uma lâmina bruta de reposição de 7 mm e que o solo, no momento da instalação dos tensiômetros, encontrava-se bem úmido. Analisando-se esses dados, verificava-se também a necessidade de se adotar, no Projeto PC-GEBAL, um manejo com tensiômetros uma vez que, pelas leituras, o solo apresentava boa disponibilidade de água dois dias depois da irrigação, não necessitando de irrigações diárias nessa fase inicial de desenvolvimento da bananeira.

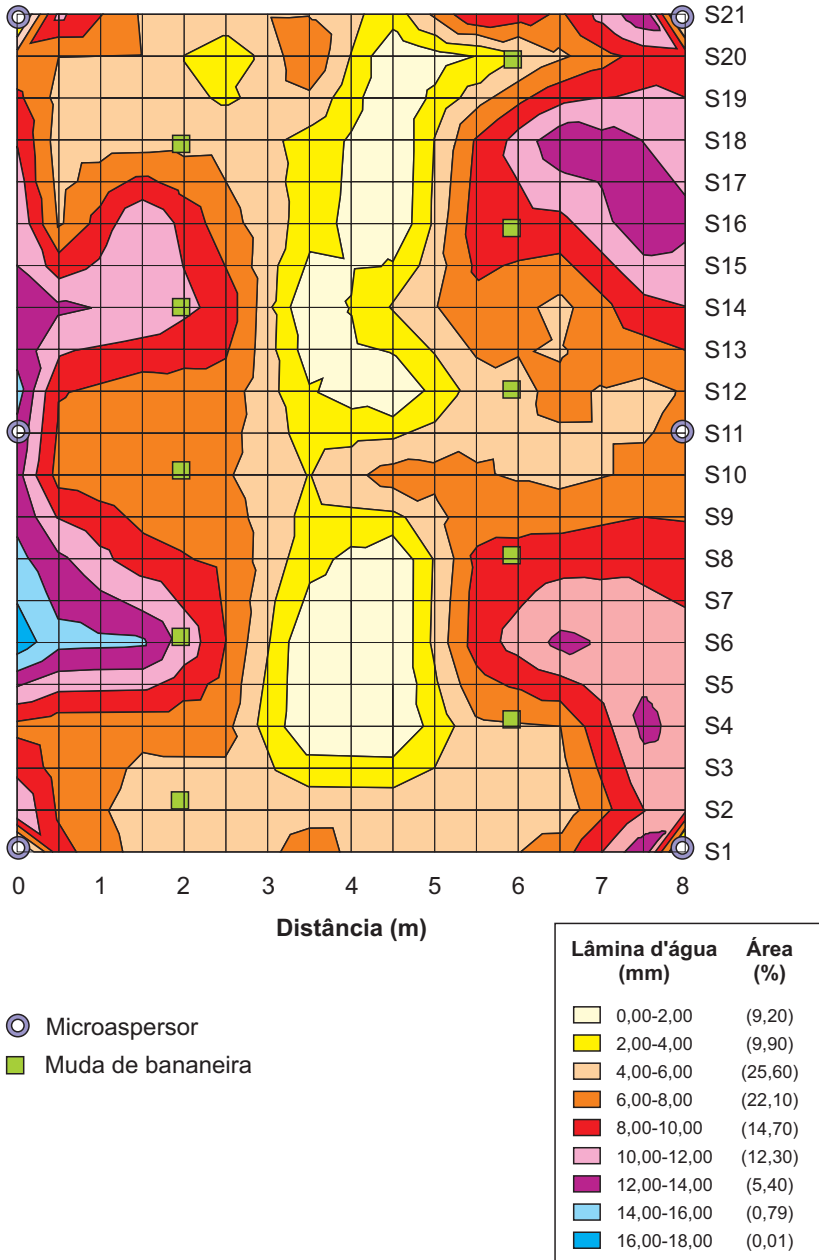


Figura 6. Superfície de distribuição da água na área de influência de seis microaspersores em duas linhas laterais de irrigação em teste com pouco vento.

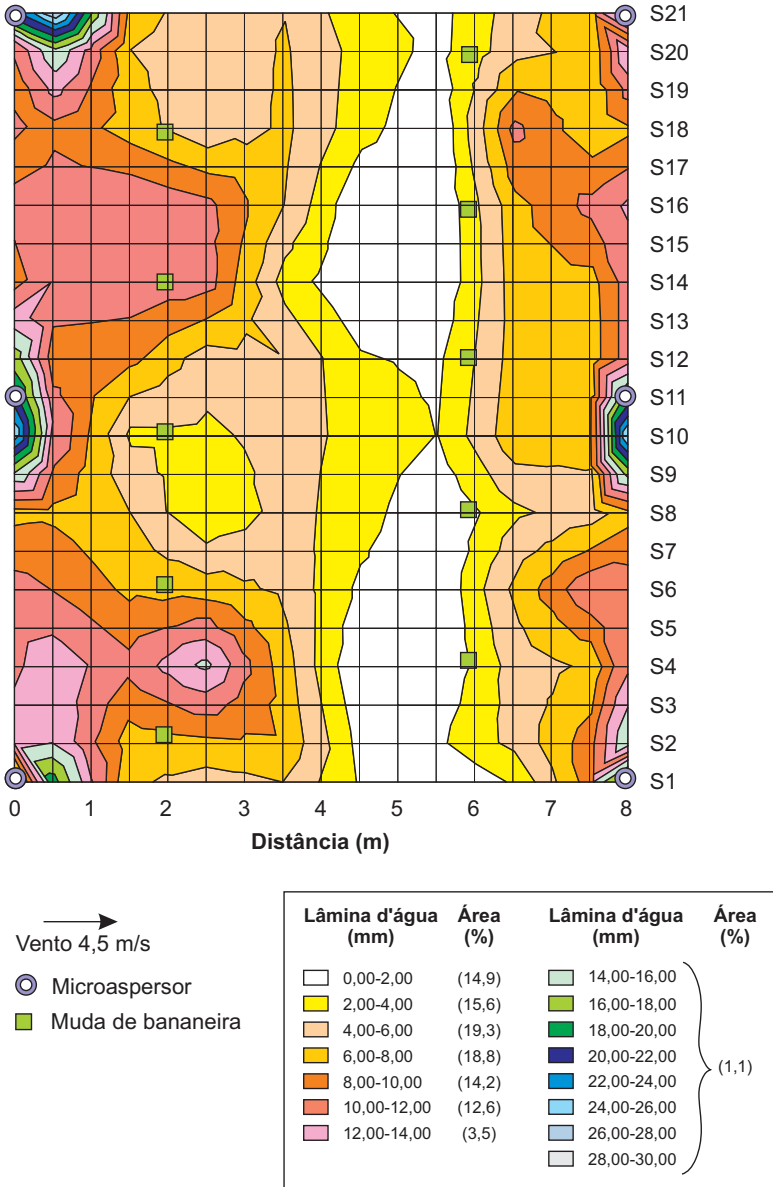


Figura 7. Superfície de distribuição da água na área de influência de seis microaspersores em duas linhas laterais de irrigação em teste com velocidade de vento de 4,5 m/s.

Tabela 3. Leituras de tensiômetros (cbar) colocados em três profundidades de solo e três posições topográficas no lote 14 do PC-GEBAL, plantado com bananeiras de 7 meses de idade, irrigadas por microaspersão.

Data e horário	Parte esquerda baixa da área			Parte média da área			Parte direita final da área			Média		
	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm	10 cm	20 cm	30 cm
01/08/99 - 8:50 13 HAI*	0	5	12	0	2	6	2	5	6	0,7	4	8
03/08/99 - 17:11 45 HAI*	4	7	17	3	6	9	8	6	6	5	6,3	10,7

Observações: * HAI = horas depois da irrigação (31/07/99)

1 atm @ 1 bar = 100 cbar

Relação entre tensão e conteúdo de água no solo

Analisando esses resultados, verifica-se que o armazenamento da água disponível entre as tensões de 0,06 e 15 atm decresce com a profundidade do solo, sendo calculada em 1,08 mm/cm, como média até 35 cm de profundidade. É interessante observar pelos dados da Tabela 4 que a tensão de 0,30 atm corresponde a um esgotamento de 50% da água disponível. Assim, para rendimentos satisfatórios da cultura da bananeira, as tensões na camada superficial do solo em que as irrigações devem ser aplicadas devem ficar entre 0,20 e 0,25 atm correspondendo, aproximadamente, a leituras de 25 a 30 kPa para o tensiômetro mais raso (10 cm). Para culturas sensíveis à seca, como a da bananeira, os níveis de esgotamento da água no solo não devem ultrapassar 35%.

Tabela 4. Conteúdo da água no solo (porcentagem em volume) em diferentes profundidades de um Latossolo Vermelho-Amarelo do PC-GEBAL - MA.

Profundidade do solo	Densidade aparente	Tensão de água no solo (Atm)							
		(g/cm ³)	0,00	0,06	0,10	0,33	0,60	1,00	15,00
(cm)									
7,5	1,21	48,40	26,62	22,99	19,36	18,15	16,94	14,52	
17,5	1,31	44,54	26,20	23,58	20,96	19,65	18,34	15,72	
27,5	1,22	46,36	24,40	21,96	19,52	18,30	17,08	14,64	
Média (0 - 35)	1,25	46,43	25,74	22,84	19,95	18,70	17,45	14,96	
Esgotamento da água disponível (porcentagem)									
até o limite de tensão indicado		-	0	26,9	53,7	65,3	76,9	100,0	

Microaspersores

Como conseqüência da uniformidade satisfatória de pressões tanto nas linhas secundárias quanto nas linhas laterais de irrigação, bem como pelo fato de o microaspersor dispor de diafragma autocompensante constata-se, pelos dados de vazão da [Tabela 1](#), excelente uniformidade de vazão com variações de apenas 1,6% em torno da média de 72,2 L/h, muito próxima do valor de 70 L/h, estabelecido na fase de dimensionamento do projeto.

Testes com três microaspersores isolados foram conduzidos, com o propósito de comparar os perfis de aplicação da água em relação ao perfil de referência, adotado pelo fabricante para o micro selecionado (Supernet Long Range 70 L/h, 3,0 kgf/cm²). Esses microaspersores estão distribuídos nas partes superior, média e inferior da área total irrigada, correspondentes, respectivamente, a locais onde se presume de menor média e maior pressão.

Os resultados referentes aos perfis de distribuição de água estão indicados na [Figura 8](#), relativa à posição média da área. Pode-se notar que em todos os perfis, na faixa de 1,5 a 2,5 metros de distância do ponto de emissão, a precipitação do microaspersor, referência obtida em laboratório, é superior aos demais perfis alcançados no campo em condições de vento. Percebe-se, entretanto, que o formato geral dos perfis ao longo do raio de alcance assemelha-se, bastante, para a maioria dos perfis, atingindo um alcance entre 4 a 4,5 metros do microaspersor o qual, no espaçamento de 4,8 metros entre microaspersores permite bom recobrimento de precipitação. Mesmo os perfis de orientação Norte, mais afetados pelo vento, permitem recobrimento de 54,2% entre microaspersores na linha de irrigação. No espaçamento entre linhas laterais, essa condição mais crítica de distribuição de água determinaria uma faixa seca teórica de 1 metro entre os 8 metros existentes.

Sistema de filtros

No lote selecionado, constatou-se, no campo, durante a operação do equipamento, freqüentes quedas de pressão evidenciando a necessidade de interrupção da irrigação para limpeza do filtro que se apresentava com acumulação de limo verde, proveniente dos taludes e paredes do canal de chamada entre o rio e o ponto de sucção. Em diversos lotes, constatou-se problema semelhante, o que pode comprometer o bom funcionamento do equipamento. Quando em boas condições, o sistema de filtragem (do tipo tela de 120 mesh) apresentou perda de carga de 0,3 kgf/cm² que constitui um valor esperado para as dimensões e tipo de filtro.

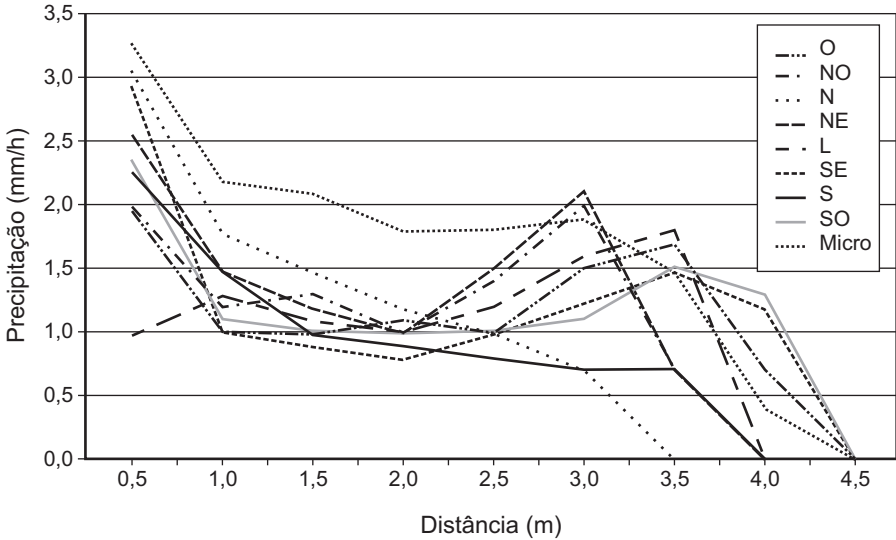


Figura 8. Perfis de distribuição de água em diferentes direções de um microaspersor situado na posição média da área irrigada.

Lâmina de irrigação

A reposição da lâmina de água da irrigação localizada foi estabelecida no dimensionamento para aplicar uma lâmina bruta de água de 7,40 mm/dia durante 4 horas de funcionamento.

Segundo os dados obtidos do estudo climatológico, feito pela IRRIPLAN (s.d.) para o projeto de irrigação do PC Gerais de Balsas, verificou-se que a maior evapotranspiração de referência (Eto) foi registrada no mês de setembro com 5,72 mm/dia. A evapotranspiração real (ETR) para a cultura da bananeira ($K_c = 1,1$) no mês de setembro é de 6,29 mm/dia. Levando-se em consideração a precipitação efetiva nesse mês e adotando-se uma eficiência de irrigação para microaspersão de 85%, tem-se uma lâmina bruta necessária de reposição de 6,80 mm/dia, portanto, o dimensionamento do equipamento atende às exigências da cultura. Considerando que se obteve uma eficiência de aplicação de 87,8%, constata-se uma ampliação da flexibilidade do equipamento para casos eventuais de elevado consumo hídrico acima da evapotranspiração crítica.

O consumo de água, por planta, conforme os dados climatológicos, quando se adota o espaçamento de 4 x 2 m da bananeira é de 54,50 litros/planta/dia.

A configuração preconizada pela empresa fornecedora é de 8 metros entre as linhas laterais e 5 metros entre micros e vazão unitária de 70 litros por hora, já citadas anteriormente, resultando, dessa forma, em 250 microaspersores/ha, ou seja, 5 plantas de bananeira, sendo irrigadas por um microaspersor. Como o funcionamento é de 4 horas, cada micro terá aspergido 280 litros, sendo 56 litros por planta, atendendo plenamente à demanda por planta. Pelos cálculos, entretanto, verificou-se que o volume ajustado, por dia, por planta, foi de 58,3 litros/planta/dia, conferindo segurança na capacidade do sistema.

Conclusões

1. A uniformidade de emissão na microaspersão do PC-GEBAL é de 97,5%, e a eficiência de aplicação é de 87,8%, considerados excelentes para esse método de irrigação.
2. A porcentagem da área úmida de 63,5%, bem como as tensões de água no solo até 2 a 2,5 metros dos microaspersores estão compatíveis com a necessidade de obtenção de maiores rendimentos para uma cultura de maior espaçamento e sensível à seca como é o caso da bananeira.
3. O percentual de área recoberta pela irrigação, com precipitações entre 4 e 8 mm/dia, atinge valores próximos de 48% em testes com pouco ou nenhum vento e 38% com ventos fortes.
4. A dotação de regas recomendada, correspondente à aplicação de 7 mm de água, em frequência diária, é exagerada para a fase inicial de desenvolvimento da bananeira.

Recomendações

Como forma de melhorar, ainda mais, a eficiência de irrigação sugere-se:

- a) Na fase de preparo de solo, depois do plantio, recomenda-se a eliminação dos camalhões que muitas vezes são deixados ao longo da fileira da bananeira e que constituem obstáculos para a distribuição circular do jato dos microaspersores. Ervas-daninhas precisam ser combatidas sistematicamente para não competir com a bananeira e não afetar a distribuição de água.

A elevação da haste da microaspersão de 20 para 50 a 60 cm proporcionará melhor distribuição da água de irrigação, evitando que restos culturais, provenientes de desbastes, na fase de produção e solo dos camalhões e ervas-daninhas, nas fases iniciais de estabelecimento constituam obstáculos à eficiência da aspersão distribuída no bananal.

- b) Ajustar a perpendicularidade e a profundidade da haste de fixação do microaspersor de tal forma que o ponto de emissão fique a 20 cm do solo.
- c) Consolidar e ajustar, quando necessário, o correto espaçamento entre microaspersores, bem como a linearidade lateral de irrigação.
- d) Implementar o uso de fertirrigação, visando a otimizar o processo de absorção de nutrientes e concorrer para maior eficiência da adubação, bem como viabilizar o uso das bombas injetoras adquiridas para esse propósito.
- e) Melhorar as condições gerais de captação de água nos locais de derivação, evitando a entrada de sedimentos, detritos, limos e sujeiras, facilitando a manutenção e a operação do sistema de filtragem.
- f) Para possibilitar uma retrolavagem automática, recomenda-se a opção de uso de um filtro adicional instalado paralelamente ao já existente, com o auxílio de válvulas de três vias que operam por diferencial de pressão, diminuindo a mão-de-obra e facilitando bastante o serviço.
- g) Adotar o critério da tensiometria para monitorar a tensão de água no solo, permitindo estabelecer o momento das irrigações e a quantidade de água aplicada, visando a programações de irrigações conforme as reais necessidades de água para a bananeira, impostas por condições variáveis do sistema solo-água-planta-clima.

Agradecimentos

Aos técnicos: Tadato Ishida - Perito em Irrigação - JICA; Ivar Gomes de Oliveira - Eng. Agrôn. - CPA/CAMPO - Brasília - DF; Alexsander Pinheiro - Eng. Agrôn. - CPA/CAMPO - Balsas - MA; Mário Inoue - Eng. Agrôn. - CPA/CAMPO - Balsas - MA; Nelson Shimabukuro - Assessor da JICA.

Referências Bibliográficas

- BRALTS, V. F.; KESNER, C. Drip irrigation field uniformity estimation. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 5, p. 1369-1374, 1983.
- ESTUDO de viabilidade para o Projeto de Irrigação Gerais de Balsas – Maranhão: estudos básicos. São Paulo: Irriplan Engenharia e Planejamento Agrícola, 1995? v. 1, 103 p. + anexos. Trabalho executado para a Campo.
- JAMES, L. G. **Principles of farm irrigation system design**. New York: John Wiley & Sons, 1988. 543 p.
- KELLER, J.; BLIESNER, R. D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.
- LIMA, J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. O uso da irrigação no Brasil. In: FREITAS, M. A. de (Org.). **O estado das águas no Brasil**. Brasília: ANEEL: SIH: MMA: SRH, 1999. p. 73-82.
- MERRIAN, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Agricultural and Irrigation Engineering Department. Utah State University, 1978. 271 p.
- SCALOPPI, J. E.; DIAS, K. F. S. Relação entre a pressão de operação e a uniformidade de distribuição de água de aspersores rotativos de impacto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1996. Bauru. **Resumos...** Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. 1 CD ROM.