

AVALIAÇÃO DE UNIFORMIDADE EM SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO LOCALIZADA

César Antônio da SILVA

Mestrando em Agronomia/Fitotecnia, Departamento de Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, Minas Gerais, Brasil. E-mail: cesar_cefet@yahoo.com.br.

Cícero José da SILVA

Prof. de Irrigação, Escola Família Agrícola, EFA, Orizona (GO), Brasil.
Tecnólogo em Irrigação e Drenagem, Centro Federal de Educação Tecnológica - CEFET, Urutaí (GO);
Geógrafo, Universidade Estadual de Goiás - UEG, Pires do Rio (GO), Brasil.
E-mail: cicero_efaori@yahoo.com.br

RESUMO

A produtividade agrícola em áreas irrigadas depende de uma série de fatores, dentre eles, o dimensionamento e manutenção dos sistemas. Aplicações excessivas ou insuficientes de água prejudicam o desenvolvimento das plantas e, conseqüentemente, a produtividade e a rentabilidade do agricultor. A distribuição de água pelos sistemas localizados é influenciada pela variação de pressão ao longo das tubulações, interferência do vento durante as irrigações e, principalmente, pelo entupimento de emissores. Assim, é fundamental avaliá-los periodicamente, a fim de minimizar perdas de água, energia e fertilizantes.

PALAVRAS-CHAVE: irrigação localizada, microaspersão, gotejamento, avaliação, uniformidade.

ABSTRACT

The agricultural productivity in areas irrigated depends on a series of factors, among them, the sizing and maintenance of the systems. Excessive or insufficient applications of water, harm the development of the plants and, consequently, the productivity and the agriculturist profitability. The distribution of water for the systems located it is influenced by the variation of pressure to the long one of the tubings, interference of the wind during the irrigations and, mainly, by the blockage of senders. Thus, it is basic to evaluate them periodically, in order to minimize losses of water, energy and fertilizers.

KEY-WORDS: located irrigation, spinners, leak, evaluation, uniformity.

INTRODUÇÃO

A irrigação na agricultura deve ser entendida não somente como um seguro contra secas ou veranicos, mas como uma técnica que dê condições para que o material genético expresse em campo todo o seu potencial produtivo (HERNANDEZ, 2004). Além disso, se bem utilizada, a irrigação é um instrumento muito eficaz no aumento da rentabilidade, permitindo, por exemplo, a racionalização de insumos através da fertirrigação.

No entanto, para que a irrigação seja eficiente, é imperativo que os sistemas apresentem alta uniformidade de aplicação da água. Uma vez instalado um projeto de irrigação, é necessário verificar se as condições previstas inicialmente se confirmam em campo. Para tanto, deve-se avaliar as condições de pressão, vazão e lâminas d'água aplicadas.

Na realidade, a avaliação de sistemas de irrigação é um tema que os agricultores pouco têm dado importância. Mesmo tendo acesso à tecnologia, muitos não a utilizam de forma adequada, por falta de orientação e conhecimento.

Em função das irregularidades da distribuição de água por irrigação localizada, este trabalho tem por objetivo revisar a metodologia de avaliação desses sistemas e apresentar alguns resultados que motivem os agricultores a adotarem tal prática.

MATERIAIS E MÉTODOS

1. Irrigação Localizada

Os sistemas de irrigação localizada são de grande importância no cenário agrícola brasileiro, com aplicações voltadas principalmente para a fruticultura, horticultura e fertirrigação (MATOS et al., 1999). Geralmente, esses sistemas são mais utilizados em culturas perenes que apresentam maior espaçamento entre plantas e entre fileiras.

Segundo BERNARDO (1995), esses sistemas caracterizam-se por aplicar água somente na zona radicular das culturas, em pequenas intensidades, porém com alta frequência (turno de rega de um a quatro dias), de modo que se mantenha a umidade do solo ao nível da capacidade de campo¹ ou próximo dele. Incluem-se na categoria irrigação localizada ou microirrigação, como é denominada por alguns autores, os sistemas por gotejo e microaspersão.

Dentre as inúmeras vantagens desses sistemas, destacam-se:

- Maior eficiência no uso da água, defensivos agrícolas e fertilizantes, quando adotada a técnica da quimigação, devido esses sistemas não molhar toda a superfície do solo;

¹ Capacidade de campo: quantidade máxima de água armazenada pelo solo sem ocorrer drenagem por gravidade.

- Economia de mão-de-obra, por se tratar de sistemas fixos, quando comparados com os sistemas convencionais de irrigação por aspersão e por superfície;
- Adaptam-se a diferentes tipos de solos e topografia;
- Maior eficiência no controle fitossanitário, por não irrigar ervas daninhas e não molhar a parte aérea dos vegetais, o que reduz a incidência de patógenos nas folhagens e frutos, minimizando os gastos com herbicidas, inseticidas e fungicidas.

Quando comparada com outros métodos, a irrigação localizada tem a vantagem de operar sob baixas pressões de serviço e, conseqüentemente, com menor conjunto motobomba e consumo de energia (CURTIS et al., 1996).

Como todo sistema apresenta vantagens e desvantagens, os sistemas localizados têm como principal limitação o entupimento de emissores, afetando significativamente a uniformidade de distribuição de água.

2. Eficiência e Uniformidade de Irrigação

Segundo BERNARDO (1995), o termo eficiência representa um balanço entre os volumes de água envolvidos no processo de irrigação. Esses volumes referem-se à quantidade de água captada na fonte, fornecida às parcelas, volume necessário às plantas, armazenado no solo à profundidade efetiva do sistema radicular das culturas e volume perdido por deriva, escoamento superficial ou *run-off*, evaporação e percolação.

São vários os fatores que interferem na distribuição de água às plantas. Do volume que é retirado da fonte (represa, poço artesiano, rio ou reservatório), uma parcela é perdida no sistema de condução, através de vazamentos em tubulações, conexões e registros. Durante o funcionamento dos sistemas, dependendo das condições atmosféricas, como ventos, altas temperaturas e baixa umidade relativa do ar, um alto percentual de água é evaporado. Assim, haverá uma redução significativa entre o volume inicial e o volume final, aplicado ao solo.

Da quantidade de água aplicada ao solo, apenas uma pequena quantidade é absorvida e aproveitada pelas plantas, pois normalmente ocorrem perdas por percolação profunda, evaporação e escoamento superficial, dependendo do manejo adotado e da uniformidade dos sistemas.

A uniformidade está associada à variabilidade da lâmina de irrigação ao longo da área molhada (FRIZZONE, 1992). Segundo BERNARDO (1995), a uniformidade pode ser expressa por índices ou coeficientes, sendo o mais utilizado o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC). São também utilizados em menor escala o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD) e o Coeficiente Estatístico de Uniformidade (CUE).

Quando estes coeficientes são maiores ou iguais a certo valor arbitrário, a uniformidade de distribuição é considerada aceitável. ZOCOLER (2005) estima que em sistemas por gotejamento, o ideal é que a uniformidade atinja um valor de CUC superior a 90% e CUD entre 85 e 90%.

A desuniformidade de gotejadores e microaspersores é atribuída principalmente à falta de manutenção, sistemas mal dimensionados, ou que estão em uso há determinado tempo. Assim, enquanto uma fração de área é

irrigada em excesso, em outra ocorre o déficit de água, não atendendo as necessidades hídricas das plantas (Figura 1).

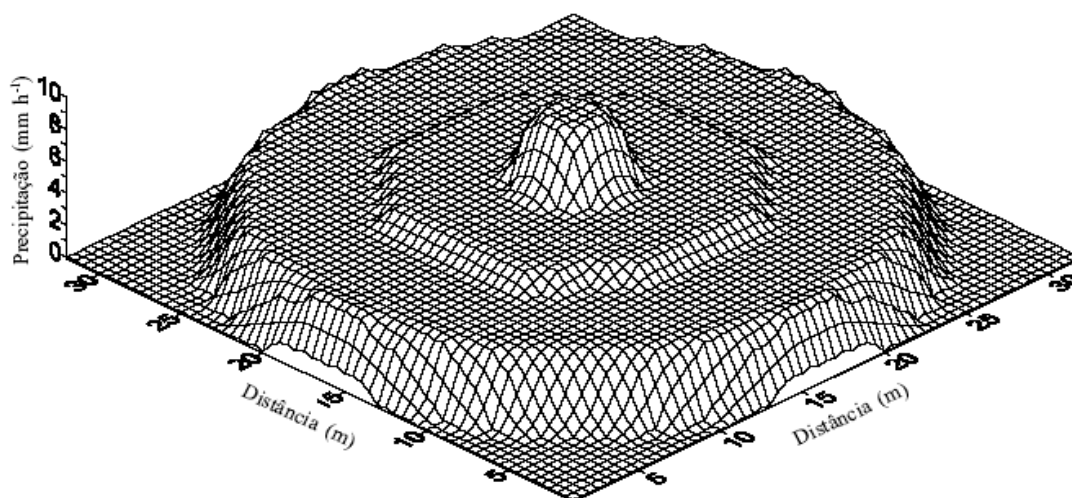


Figura 1: Perfil tridimensional de miniaspensor Mamkad autocompensante, modelo Dan Sprinklers, operando na pressão de serviço de 300 kPa (ROCHA et al., 2001).

A desuniformidade em sistemas por microaspersão é presenciada pelo fato da elevada precipitação próximo à base dos emissores, atingindo nas extremidades de alcance do jato valores muito pequenos, chegando-se a praticamente zero.

3. Fatores que Interferem na Uniformidade de Irrigação

No sistema intensivo de agricultura irrigada, quase sempre os produtores não dispõem de tempo para revisar os equipamentos de irrigação, que em geral, são usados durante anos, sem que haja revisão da motobomba ou substituição dos reguladores de pressão, os quais têm vida útil relativamente reduzida (GUERRA, 2004). Esse comportamento é, sem dúvida, uma das principais causas da má distribuição de água no solo, resultando em queda de produtividade nas lavouras irrigadas.

Em sistemas pressurizados, a motobomba deve ser checada constantemente, pois geralmente ocorre o desgaste de suas partes internas, causado por pedregulhos e em função da qualidade da água de irrigação. Outra situação comumente encontrada é a falta de pressão no final das linhas de distribuição, devido ao envelhecimento e corrosão das paredes internas das tubulações, o que provoca aumento da perda de carga (GUERRA, 2004).

A uniformidade de irrigação é influenciada por uma série de fatores: pressão de serviço; diâmetro dos bocais, geometria e rugosidade dos orifícios; inclinação e velocidade de lançamento do jato; altura do emissor em relação ao solo; estabilidade da haste de sustentação do emissor, que deve ser mantida sempre na vertical; distância dos microaspersores ao caule das plantas e a

interferência na interceptação do jato (COSTA, 1994); e, principalmente fatores climáticos, como a velocidade e direção do vento (CONCEIÇÃO, 2002).

As perdas de água nos sistemas por microaspersão são, normalmente, maiores do que na irrigação por gotejamento. Isso ocorre devido à maior superfície molhada de solo e porque, na microaspersão, a água é lançada ao ar. Mesmo operando próximo à superfície do solo, os microaspersores têm sua uniformidade afetada significativamente pelo vento, resultando em arraste das gotas numa determinada direção.

Para verificar a influência do vento (provocado artificialmente por ventiladores) no tamanho das gotas em microaspersão, CONCEIÇÃO (2002) avaliou sete microaspersores autocompensantes da marca DAN 2001, operando a uma pressão de 250 kPa, com ângulo de inclinação do jato de 17° e vazões que variaram de 20 a 95 L/h. As respectivas vazões e diâmetros dos bocais foram: 20 L h⁻¹ e 0,84 mm (bocal violeta), 28 L h⁻¹ e 1,00 mm (bocal cinza), 35 L h⁻¹ e 1,10 mm (bocal marrom), 47 L h⁻¹ e 1,25 mm (bocal azul), 55 L h⁻¹ e 1,33 mm (bocal verde), 70 L h⁻¹ e 1,48 mm (bocal laranja) e 95 L h⁻¹ e 1,75 mm (bocal amarelo).

Utilizando o método da farinha, descrito por CARTER et al. (1974), em que as gotas são coletadas em recipientes contendo farinha de trigo previamente seca em estufa, formando pequenos grânulos, CONCEIÇÃO (2002) verificou experimentalmente que o número de gotas menores que 0,5 mm de diâmetro, variou entre 78 e 91% em todos os bocais. Entre 8% e 21% das gotas apresentaram diâmetro de 0,5 a 1,0 mm. O número de gotas maior que 1,0 mm de diâmetro não ultrapassou 2% em nenhum dos bocais.

Para uma velocidade média de 2,0 m s⁻¹, CONCEIÇÃO (2002) obteve uma irregular simetria de distribuição espacial da precipitação em todos os bocais estudados (Figuras 2 e 3), de forma a comprometer a eficiência de aplicação.

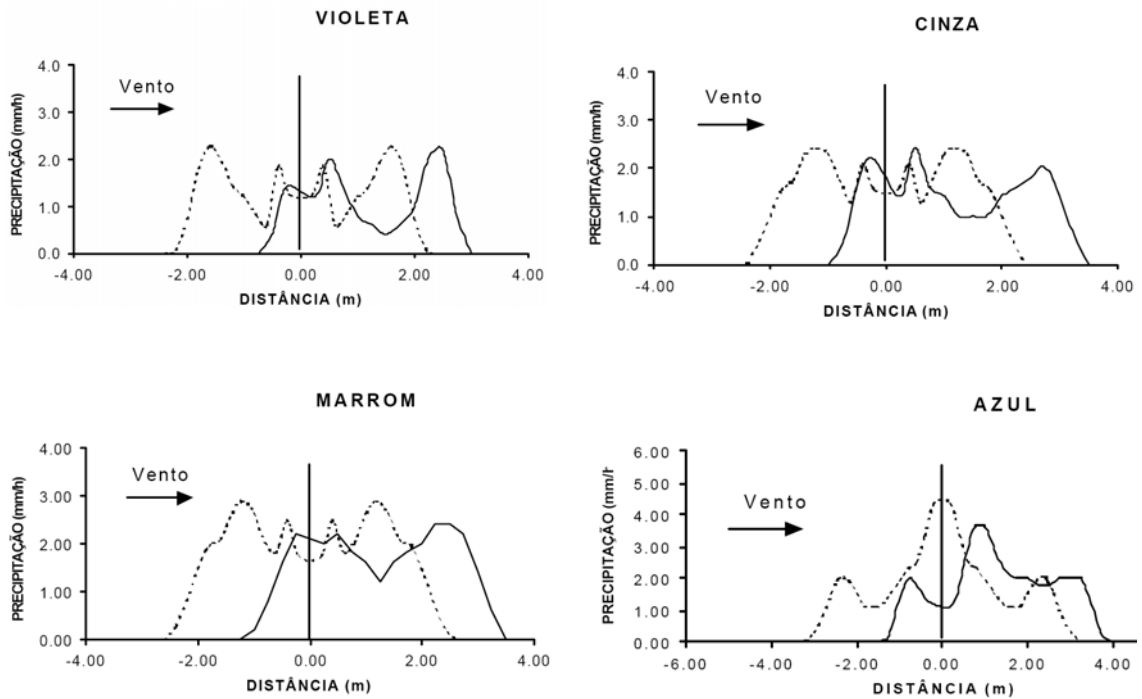


Figura 2: Perfis de distribuição de água com e sem vento para os bocais violeta, cinza, marrom e azul (CONCEIÇÃO, 2002).

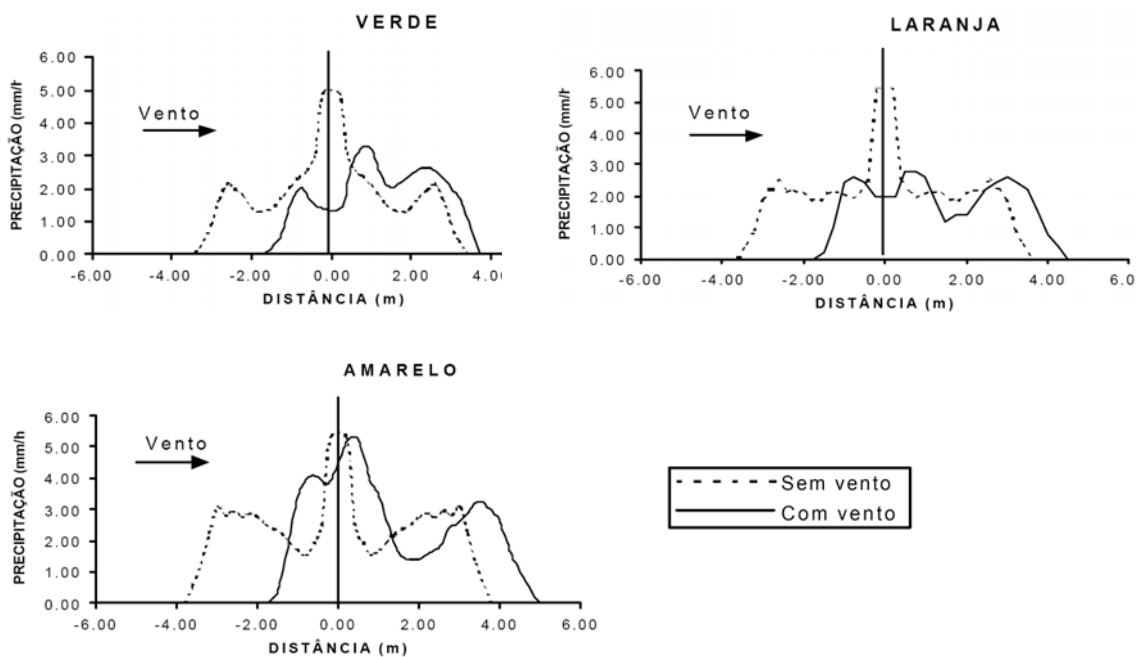


Figura 3: Perfis de distribuição de água com e sem vento para os bocais verde, laranja e amarelo (CONCEIÇÃO, 2002).

Segundo CONCEIÇÃO (2002), o maior deslocamento da água pelo vento ocorreu no bocal violeta (Figura 4). Em nenhum dos bocais testados foram coletadas lâminas de água a distâncias superiores a 1,50 m do microaspersor no sentido contrário ao vento. As perdas de água por deriva e

evaporação na presença de vento representaram entre 17,1% e 30,2% do volume total aplicado sem vento.

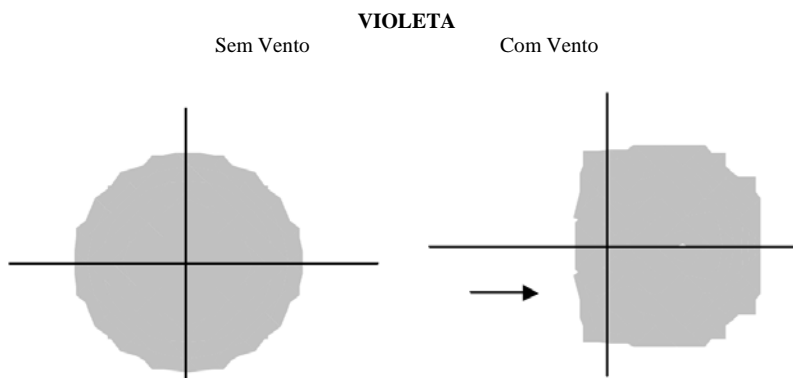


Figura 4: Distribuição espacial de precipitação com e sem vento para o bocal violeta (CONCEIÇÃO, 2002).

DANTAS NETO et al. (1997), estudando o comportamento do microaspersor NAAM 7110, constataram que a velocidade do vento não influenciou no diâmetro médio molhado do microaspersor. Entretanto, as precipitações médias coletadas diminuíram com o aumento da velocidade do vento. Para velocidades de até $0,56 \text{ m s}^{-1}$, a precipitação média foi de $2,45 \text{ mm h}^{-1}$. Essa precipitação atingiu $1,53 \text{ mm h}^{-1}$ quando a velocidade do vento ficou entre $1,67 \text{ m s}^{-1}$ e $2,22 \text{ m s}^{-1}$.

MEDEIROS et al. (1998), ao avaliarem a influência do vento na eficiência de aplicação do microaspersor NAAM 7110, operando em condições de campo, observaram que a eficiência diminuiu com o aumento da velocidade do vento, registrando-se perdas por evaporação iguais a 20,6% e 24,38% para velocidades de $1,9 \text{ m s}^{-1}$ e $2,0 \text{ m s}^{-1}$, respectivamente.

ALVES et al. (1997) encontraram perdas durante a aplicação variando entre 12,1% e 21,2% para microaspersores instalados a 0,30 m de altura do solo e velocidades do vento entre $0,53 \text{ m s}^{-1}$ e $2,58 \text{ m s}^{-1}$.

Em culturas irrigadas por microaspersão, em que toda a área é molhada, como no caso de hortaliças, para minimizar o efeito do vento, recomenda-se diminuir o espaçamento entre emissores (Tabela 1) e colocar as linhas laterais perpendiculares à direção predominante dos ventos (BERNARDO, 1995). Uma outra medida é irrigar nos horários com menor incidência de ventos.

Tabela 1: Espaçamento de emissores, em função do diâmetro de cobertura e da velocidade do vento.

Velocidade do vento (m/s)	Espaçamento em função do diâmetro de cobertura
Sem vento	65 a 70%
0 a 2,0	55 a 65%
2,0 a 4,0	45 a 55%
> 4,0	30 a 45%

Fonte: BERNARDO, 1995.

Objetivando avaliar a influência da altura e do espaçamento na uniformidade de três microaspersores da marca DAN (modelos 8991, 2001 e 8944), com vazões de 157, 135 e 106 L h⁻¹, respectivamente, operando em posição invertida, com pressão de serviço de 200 kPa (recomendado pelo fabricante), SAMPAIO et al. (2001) verificaram que os dois primeiros fatores tiveram efeito significativo na uniformidade de distribuição de água. Como se observa na Figura 5, os valores de CUC foram maiores nos microaspersores funcionando a uma maior altura e a um menor espaçamento entre eles. Verifica-se que o coeficiente de uniformidade aumentou abruptamente com o aumento da altura de 0,5 para 1,0 m, em todos os microaspersores.

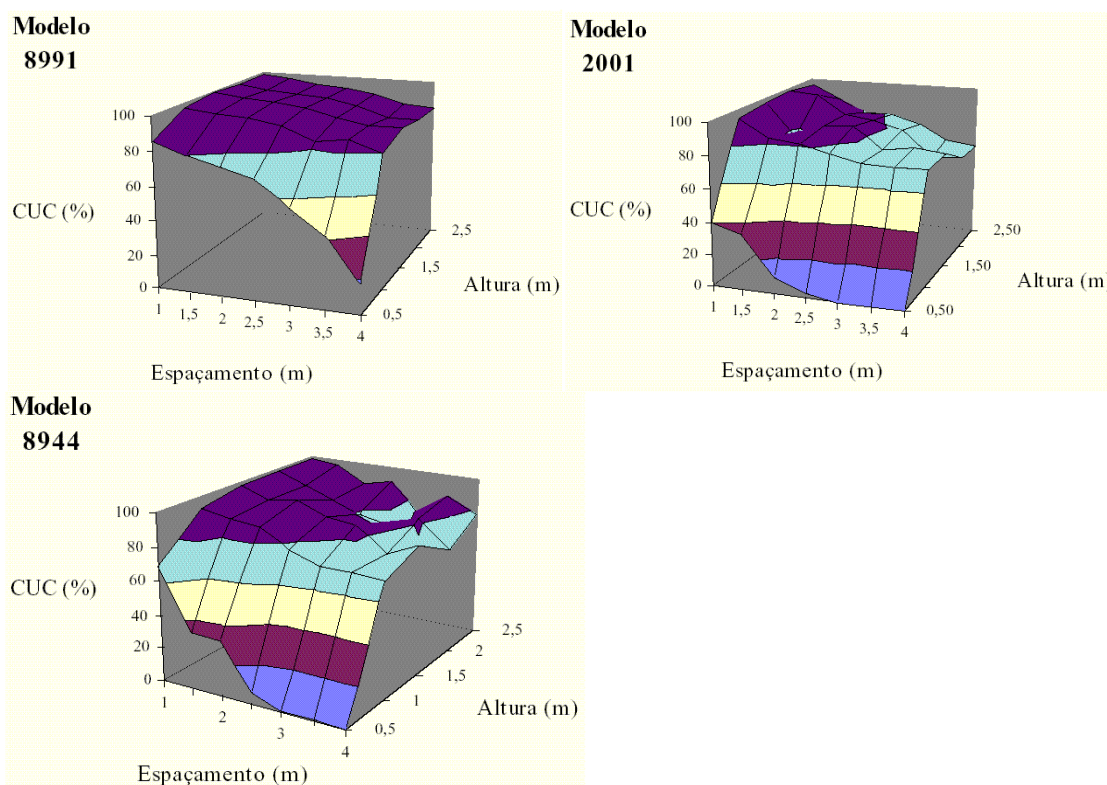


Figura 5: Influência da altura e espaçamento sobre o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen dos microaspersores DAN, modelos 8991, 8944 e 2001, instalados em posição invertida (SAMPAIO et al., 2001).

Quanto à pressão de serviço, os microaspersores devem funcionar dentro dos limites de pressão especificados pelos fabricantes, pois pressão muito alta provoca uma excessiva pulverização do jato, o que diminui o raio de alcance e causa uma excessiva precipitação próxima ao emissor. Pressão muito baixa também resulta em má distribuição da água.

Gilaad et al. (1980), citados por PAES (1985), observaram que as características hidráulicas dos microaspersores são influenciadas pela geometria, pelo material, processo de fabricação e método de instalação do microaspersor na linha lateral.

Basicamente, existem duas categorias principais de microaspersores, difusores ou fixos e “bailarinas”, sendo encontrados no mercado vários modelos (Figura 6), cada um apresentando sua vantagem principal.

Em função da melhor uniformidade de distribuição de água, vários autores têm recomendado o uso de bailarinas, que podem ser espaçadas acompanhando o espaçamento entre plantas, sendo uma por planta. Em culturas com plantio em fileiras duplas, para redução de custos, normalmente é adotada uma linha lateral de microaspersores no centro de duas fileiras de plantas, com um microaspersor fornecendo água para duas plantas.



Figura 6: Alguns modelos de microaspersores encontrados no mercado (BELTEC, 2005).

Quanto ao uso de gotejadores, eles podem ser dispostos ao longo da linha lateral, em círculo ou semicírculo, a uma distância das plantas a depender do tipo de bulbo úmido formado no solo e do comprimento do sistema radicular. Em solos arenosos, o bulbo expande mais na vertical do que em solos de textura fina, tornando-se conveniente, adotar dois ou até quatro gotejadores por planta, a fim de molhar completamente a zona radicular.

Um outro fator que influencia diretamente na uniformidade de sistemas localizados é o processo de fabricação dos emissores. SOLOMON (1979) cita que é impossível fabricar dois emissores perfeitamente iguais. Algumas variações sempre existirão entre objetos supostamente idênticos, porque existe uma série de variáveis de controle da máquina de moldagem, como temperatura, pressão e velocidade de injeção, e temperatura e operação do molde. Qualquer um desses fatores causa mudanças nas condições do material que está sendo moldado.

Além dos fatores já mencionados, a uniformidade de irrigação é afetada pelo tempo de uso dos equipamentos de irrigação, ou seja, além de sua vida útil; perda de carga no interior das tubulações; projetos mal dimensionados; entupimentos de emissores, em função do pequeno diâmetro de passagem dos mesmos e da qualidade da água de irrigação (KELLER & BLIESNER, 1990).

Características construtivas dos emissores, físico-química e biológica da água utilizada, são também fatores a serem levados em conta

para determinar o potencial de entupimento para um sistema de irrigação localizada.

As principais causas de entupimento de emissores foram reunidas por GILBERT & FORD (1986) em três principais grupos: entupimento de origem química, física e biológica. Entre elementos responsáveis pela obstrução de gotejadores e microaspersores, destacam-se as partículas de argila, proliferação de algas e alta concentração de ferro na água de irrigação. A oxidação do ferro tem sido uma das principais causas de entupimento, pois ele reage com o oxigênio do ar e forma precipitados.

A determinação da causa exata do entupimento de emissores, no entanto, pode ser complexa, uma vez que vários agentes na água podem interagir com outros, agravando o problema de entupimento (RAVINA et al., 1992). No dimensionamento do sistema de filtragem, um dos parâmetros levados em conta é não permitir a passagem de partículas com diâmetros maiores que 1/10 e 1/5 do diâmetro do orifício do emissor, para gotejadores e microaspersores, respectivamente (KELLER & BLIESNER, 1990).

NAKAYAMA & BUCKS (1981) desenvolveram um modelo de simulação para avaliar a influência do entupimento em um sistema de irrigação por microaspersão, através do qual e com base em um coeficiente de variação de fabricação (CVF) de 0,05 e no critério de permitir um Coeficiente de Uniformidade de 90%, o máximo nível de entupimento tolerável seria de 2% para dois emissores por planta; de 4% para quatro emissores por planta e de 6% para oito emissores por planta. Neste modelo de avaliação do entupimento, o CVF pode ser determinado pelas equações:

$$CVF = \frac{S}{\bar{X}} \quad S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N |Xi - \bar{X}|^2}{N}}$$

Em que,

S: desvio padrão das lâminas de irrigação;

N: número de coletores ou pluviômetros;

X_i : lâmina de água aplicada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo;

\bar{X} : lâmina média aplicada.

4. Metodologias de Determinação da Uniformidade

4.1 Irrigação por Microaspersão

Apesar de ser um sistema localizado, a microaspersão apresenta características hidráulicas e de operação muito próximas da aspersão convencional. Dessa forma, segundo CONCEIÇÃO (2002), os mesmos procedimentos utilizados para avaliar os sistemas por aspersão convencional podem ser utilizados na microaspersão.

Para determinar a uniformidade de um sistema de irrigação por microaspersão, é necessário distribuir vários “pluviômetros” ou coletores, de forma equidistante, ao redor do emissor a ser testado, deixando o sistema em funcionamento por um período de no mínimo duas horas. O tempo ideal para

cada teste deve ser igual ou maior do que a metade do tempo que o sistema funcionará por posição, durante as irrigações normais (BERNARDO, 1995).

Os coletores de precipitação devem seguir uma disposição quadricular, formando uma malha em torno do microaspersor testado (Figura 7). As linhas de coletores devem cobrir uma distância superior ou igual ao alcance do jato dos emissores.

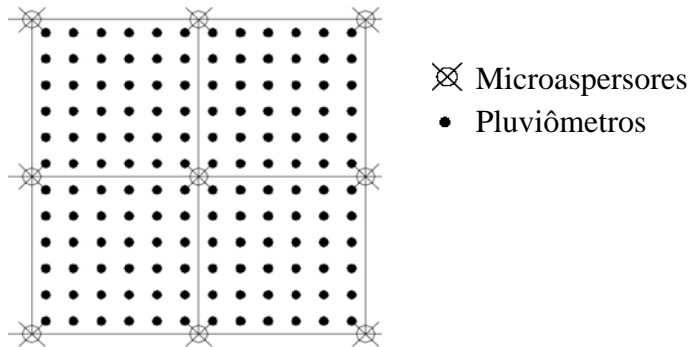


Figura 7: Esquema de distribuição de coletores ao redor de microaspersor a ser testado.

Durante o teste, são medidas a pressão e a vazão no bocal do microaspersor, a direção e a velocidade do vento e, no final do teste, o volume ou lâmina d'água coletada nos pluviômetros.

O número mínimo de coletores a ser instalado por teste geralmente varia de 100 a 144, dependendo do alcance do jato (BERNARDO, 1995).

A uniformidade de irrigação é obtida por medidas de dispersão, em comparação com o valor da lâmina média de água aplicada. Existem várias equações para determiná-la, sendo as mais usadas: a de Christiansen, a equação proposta pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos e a equação de uniformidade, proposta por Wilcox e Swailes.

• **Coefficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)**

$$CUC = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|}{N \cdot \bar{X}} \right), \text{ em percentagem.}$$

Sendo:

N: número de coletores ou pluviômetros;

X_i : lâmina de água aplicada no i-ésimo ponto sobre a superfície do solo;

\bar{X} : lâmina média aplicada.

• **Coefficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD)**

$$CUD = 100 \cdot \frac{\bar{x}}{\bar{X}}, \text{ em percentagem.}$$

Onde:

\bar{x} : lâmina média de 25% dos pluviômetros com as menores precipitações;

\bar{X} : média das precipitações, considerando todos os pluviômetros.

- **Coefficiente de Uniformidade Estatístico (CUE)**

$$CUE = 100 \cdot \left(1 - \frac{S}{\bar{X}} \right), \text{ em percentagem.}$$

A variável (S) é o desvio-padrão dos dados de precipitação, sendo determinado pela seguinte equação:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N |X_i - \bar{X}|^2}{N}}$$

Conforme ZOCOLER (2005), valores de CUC inferiores a 90% em sistemas localizados, só podem ser admitidos se a precipitação pluvial tem um valor significativo durante o cultivo, ou se a diminuição dos custos do sistema com a redução da uniformidade compensar a diminuição da receita devido à redução na produção da cultura.

De um modo geral, culturas de sistema radicular mais superficial, como algumas hortaliças, necessitam de valores de CUC mais altos do que para culturas de sistema radicular profundo, a exemplo de algumas frutíferas que recebem irrigação suplementar (ZOCOLER, 2005).

De fato, existem dois métodos de amostragem da precipitação para a determinação da uniformidade em sistemas por microaspersão: amostragem radial e amostragem em malha. BOAS (1994), ao comparar esses dois métodos, verificou que eles são estatisticamente equivalentes, podendo-se recomendar a utilização do método de amostragem radial para análise da uniformidade de distribuição de água, seja em condições de campo ou na ausência de vento, por ser considerado de fácil e rápida instalação.

SILVA (2002) obteve ao utilizar a amostragem em malha, valores de CUC e CUE iguais a 76% e 68%, respectivamente. Na amostragem radial, os valores de CUC e CUE foram 75,6% e 73%, respectivamente, demonstrando que praticamente não há diferença na determinação do CUC ao utilizar qualquer um dos dois métodos.

4.2 Irrigação por Gotejamento

É de capital importância determinar a uniformidade de distribuição de água em qualquer sistema de irrigação. Segundo BERNARDO (1995), na irrigação por gotejamento é recomendável, após a instalação do sistema e a cada dois anos de funcionamento, determinar a uniformidade de aplicação.

Para determiná-la, é necessário medir a vazão dos gotejadores ao longo das linhas laterais e a pressão de funcionamento no início das linhas de derivação ou no cabeçal de controle.

Um dos índices bastante utilizado para avaliar sistemas de irrigação por gotejamento é a uniformidade de distribuição (UD), a qual tem sido denominada uniformidade de emissão (UE), expressa por:

$$UE = 100 \cdot \frac{q_{25}}{q}, \text{ em percentagem.}$$

Sendo:

q_{25} : a vazão média de 25% dos gotejadores com as menores vazões;

q : a média das vazões, considerando todos os gotejadores.

Como a medição de vazão de todos os gotejadores de uma unidade operacional demanda muito tempo, para simplificar e reduzir trabalho, CHRISTIANSEN (1942) recomenda determinar o CUC por linha lateral, escolhendo-se ao acaso quatro laterais por unidade operacional.

Um outro método, proposto por KELLER & KARMELI (1975), recomenda a obtenção de vazão em quatro pontos ao longo da linha lateral, ou seja, do primeiro gotejador, dos gotejadores situados a $1/3$ e $2/3$ do comprimento e o último gotejador. As linhas laterais selecionadas, ao longo da linha de derivação, devem ser a primeira, as situadas a $1/3$ e $2/3$ do comprimento e a última linha lateral (Figura 8).

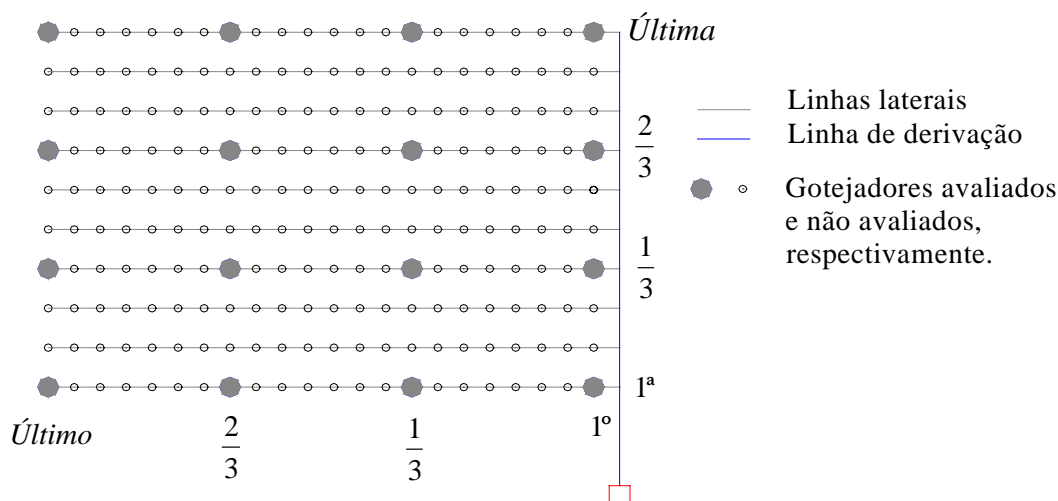


Figura 8: Esquema de metodologia de determinação da uniformidade em gotejamento (KELLER & KARMELI, 1975).

Em razão do pequeno número de pontos amostrados em cada linha lateral, principalmente se tratando de linhas laterais de maior comprimento, DENÍCULI et al. (1980) sugeriram a coleta de vazão em oito gotejadores por linha lateral: do primeiro gotejador, dos gotejadores situados a $1/7$, $2/7$, $3/7$, $4/7$, $5/7$, $6/7$ e do último gotejador (Figura 9).

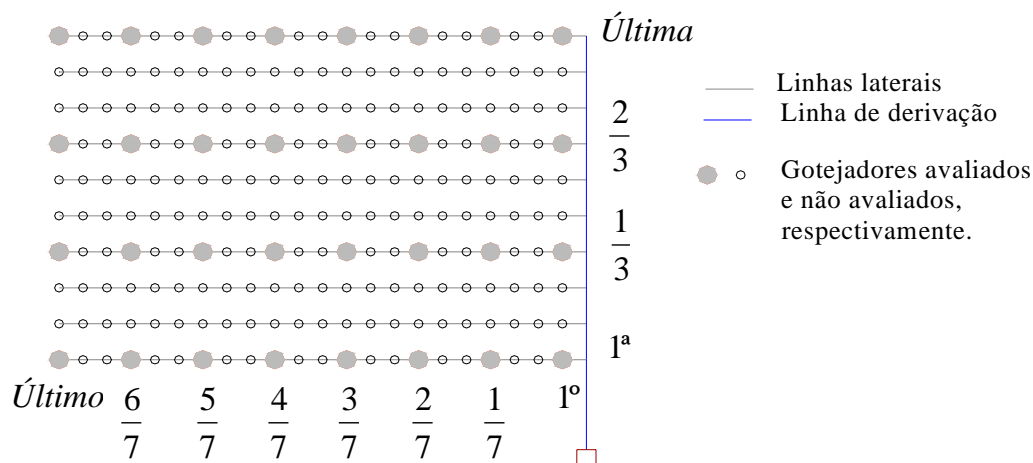


Figura 9: Esquema de metodologia de determinação da uniformidade em gotejamento (DENÍCULI et al., 1980).

Para comparar os três métodos de determinação da uniformidade em sistemas por gotejamento, Denículi e Bernardo analisaram um sistema de irrigação por gotejamento no Campus da Universidade Federal de Viçosa, o qual é constituído de 48 linhas laterais. Quando se calculou a uniformidade por linha lateral pelos métodos de CHRISTIANSEN (1942), de KELLER & KARMELI (1975) e de DENÍCULI et al. (1980), encontraram-se as seguintes variâncias entre os valores de cada método: 8, 158 e 62, respectivamente. Em função do maior número de dados coletados, o método de CHRISTIANSEN (1942) foi o mais preciso.

Um grande avanço no que se refere à irrigação localizada nas duas últimas décadas, foi o advento de gotejadores e microaspesores autocompensantes, que apresentam um dispositivo para compensar variações na pressão e na vazão. Com isso, é possível o projetista de irrigação adotar linhas laterais de maior comprimento, sem aumento do diâmetro da tubulação, oferecendo-lhe grande vantagem em áreas extensas e de elevada variação topográfica.

Os emissores autocompensantes apresentam vazão praticamente constante para uma faixa de valores de pressão, sendo que abaixo do limite mínimo de pressão, geralmente esses emissores são também autolimpantes, o que é de suma importância em irrigação localizada (ZANINI et al., 1998).

CONCLUSÕES

A uniformidade em sistemas de irrigação localizada é afetada por uma série de fatores, dentre eles, fatores hidráulicos, atmosféricos, falta de manutenção dos equipamentos e baixa qualidade da água de irrigação, fazendo com que aplicações insuficientes ou excessivas resultem em prejuízos consideráveis à produtividade.

Quanto à avaliação de sistemas de irrigação por microaspersão, podem ser utilizados os métodos de amostragem radial ou por malha, pois

verifica-se que a diferença nos valores de CUC é mínima, ao considerar estes dois métodos.

Em sistemas de irrigação por gotejamento, quanto maior o número de gotejadores avaliados, mais precisos são os valores dos coeficientes de uniformidade, demonstrando que o método de DENÍCULI et al. (1980), apesar de ser um pouco mais trabalhoso, é mais apropriado que o de KELLER & KARMELI (1975).

Apesar do lançamento dos emissores autocompensantes no mercado, a avaliação dos sistemas de irrigação continua sendo um dos pontos de partida para o sucesso das lavouras. Portanto, sistemas bem dimensionados e uniformes na distribuição de água são fundamentais para a técnica da quimigação, o que resulta em aumento de produtividade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, E. F.; LEÃO, M.C.S.; CASTRO, P. T. de. Qualidade de irrigação de um microaspersor em diferentes alturas de instalação e velocidade média de vento na região do Vale do Curu (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., Campina Grande, 1997. **Anais...** Campina Grande: SBEA, 1997.

BELTEC T. **Sistemas de irrigação: microaspersores MF**. Disponível em <<http://www.beltectangua.com.br/sistemas.htm>>. Acesso em 25 jun. 2005.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6ª ed. rev. e ampl. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 1995, 657 p.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: University of Califórnia, 1942. 124 p.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento**. 2002, 110 p. Tese (Doutorado em Agronomia). Piracicaba: ESALQ/USP, 2002.

COSTA, M. C. **Caracterização hidráulica de dois modelos de microaspersores associados a três reguladores de fluxo e um mecanismo de pulso**. 1994. 109 p. Tese (Mestrado em Agronomia). ESALQ/USP, Piracicaba, 1994.

CURTIS, L. M.; POWELL, A. A.; TYSON, T. W. **Microirrigation of peaches in the southeast**. Irrigation Journal, New York, v.46, n.2, p. 22, maio 1996.

DANTAS NETO, J.; MEDEIROS, M. G. A. de; AZEVEDO, C. A. V. de; AZEVEDO, H. M. de. Performance hidráulica e perfil de distribuição de água do microaspersor NAAM 7110, sob diferentes condições de vento. In: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.1, p. 57-61, 1997.

DENÍCULI, W.; BERNARDO, S.; THIÁBAUT, J. T. L.; SEDIYAMA, G. C. **Uniformidade de distribuição de água, em condições de campo, num sistema de irrigação por gotejamento.** Revista Ceres, Viçosa. 1980. v 27, n. 150, p. 155 - 162.

FRIZZONE, J. A. **Irrigação por aspersão:** uniformidade e eficiência. Piracicaba: ESALQ, 1992, 53 p. (Séria Didática).

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles/emitter clogging. In: Nakayama, F. S. & Bulks, D. A. **Trickle irrigation for crop production.** Amsterdam: Elsevier, 1986. cap.3, p. 142-163.

GUERRA, A. F. **Adequação e manejo das irrigações por aspersão por pivô central no cerrado.** EMBRAPA/CPAC, 2004. Disponível em <<http://www.agronline.com.br/artigos>>. Consultado em 27 jun. 2005.

HERNANDEZ, F. B. T. **Manejo da irrigação.** 2004. Disponível em <<http://www.irrigaterra.com.br/manejo.php>>. Acesso em 28 ago. 2005.

KELLER, J.; BLIESNER, D.R. **Sprinkler and trickle irrigation.** New York: van Nostrand Reinhold, 1990. 652 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design.** Rain Bird Sprinkler Manufacturing Corporation, 1975. 133 p.

MATOS, J. A.; DANTAS NETO, J.; AZEVEDO, C. A. V.; AZEVEDO, H. M. Avaliação da distribuição de água de um microaspersor autocompensante. In: **Revista Irriga**, Botucatu, v.4, n.3, p. 168-174, 1999.

MEDEIROS, M. G. A.; MATOS, J. A.; AZEVEDO, C. A. V. de; DANTAS NETO, J. Influência de fatores climáticos na eficiência potencial de aplicação de água do microaspersor Naam 7110 em condições de campo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., Lavras, 1998. **Anais...** Lavras: UFLA/SBEA, 2001. v.2, p. 142-144.

NAKAYAMA, F. S; BULKS, D. A. Emitter clogging effects on trickle irrigation uniformity. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.24, p. 77-80. 1981.

PAES, L. A. D. **Características hidráulicas dos microaspersores Dantas MA120 e Irtec e das linhas laterais em sistemas de irrigação por microaspersão.** 1985. 85 p. Tese (Dissertação Mestrado). UFV, Viçosa, 1985.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. In: **Irrigation Science**, New York, v.13, p. 129-139, 1992.

ROCHA, F. A.; CÉSAR, J. H. F.; MELLO, C. R. de; ROCHA, F. S.; PEREIRA, G. M. Caracterização hidráulica de três modelos do miniaspersor Mamkad

autocompensante. In: **Rev. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, Campina Grande, PB. v. 5, n. 1, p. 6-9, 2001.

SAMPAIO, S. C.; KOBAYASHI, M. K.; CORRÊA, M. M. Uniformidade de aplicação de água por microaspersores operando em posição invertida. In: **Revista Ciência e Agrotecnologia**, Lavras. v.25, n.6, p. 1359-1369, nov./dez. 2001.

SILVA, C. A. da. **Teste de uniformidade em microaspersor**. Urutaí, GO: CEFET, 2002.

SOLOMON, K. **Variability of sprinkler coefficient of uniformity test results**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.22, n.5, p. 1078-1086, 1979.

ZANINI, J. R.; PAVANI, L. C.; TAROZZO, M. Avaliação da vazão de um sistema de irrigação por microaspersão em cultura de bananeira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27. 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Poços de Caldas: SBEA, 1998. p. 290-292.

ZOCOLER, J. L. **Avaliação de desempenho de sistemas de irrigação**. Ilha Solteira – SP: UNESP. Disponível em <<http://www.agr.feis.unesp.br/irrigacao.html>>. Acesso em 27 jun. 2005.