

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESEMPENHO HIDRÁULICO DE MICROASPESSOR
AUTOCOMPENSANTE, NOVO E USADO**

Stocler Manoel de Andrade

Engenheiro Agrônomo

2013

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**DESEMPENHO HIDRÁULICO DE MICROASPESSOR
AUTOCOMPENSANTE, NOVO E USADO**

Stocler Manoel de Andrade

Orientador: Prof. Dr. José Renato Zanini

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

2013

A553d Andrade, Stocler Manoel de
Desempenho hidráulico de microaspersor autocompensante, novo e usado / Stocler Manoel de Andrade. -- Jaboticabal, 2013
iv, 49 p. : il. ; 29 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: José Renato Zanini
Banca examinadora: Roberto Rezende, Rogério Teixeira de Faria
Bibliografia

1. Distribuição de água. 2. Irrigação localizada. 3. Microirrigação.
4. Uniformidade de aplicação de água. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631.674

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

e-mail: stocler@stocler.com.br

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Stocler Manoel de Andrade – Brasileiro nascido em 20 de dezembro de 1973, na cidade de Araraquara, estado de São Paulo. Filho de Evandro Manoel de Andrade e Neide Azevedo Oliva de Andrade. Iniciou o curso de graduação em Agronomia em fevereiro de 1992 na Universidade de Marília (UNIMAR). Em 1994 transferiu-se para a Universidade Federal do Paraná (UFPR - Curitiba - PR). Foi bolsista do CNPq como monitor da Disciplina Pedologia A e estagiário em Forragicultura, auxiliando na implantação e desenvolvimento de projetos de pesquisa sob a supervisão do Prof. Dr. Aníbal de Moraes. Em março de 1997, iniciou estágio no setor privado como projetista de sistemas de irrigação da empresa Irrigabrazil Indústria e Comércio de Equipamentos para Irrigação Ltda, localizada em Pinhais - PR. Após a conclusão da graduação, pela UFPR, em 15 de outubro de 1998, ingressou como funcionário na mesma empresa com o cargo de Engenheiro Regional Sul, localizado em Avaré - SP. Em 1999 iniciou o trabalho como Responsável Técnico da empresa Sistemaq Sistemas de Irrigação Ltda, em Limeira - SP. Em 2001, em Bebedouro - SP, iniciou a sua empresa Stocler Irrigação Ltda - ME, prestando serviços técnicos de Projetos, Consultoria e Implantação de Obras Hidráulicas e Irrigação. Em março de 2010, ingressou no curso de Mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - Unesp - Câmpus de Jaboticabal, desenvolvendo pesquisa na área de engenharia de água e solo.

DEDICO

Ao Grande Arquiteto do Universo, DEUS.

À minha esposa Kátia S. O. de Andrade e minhas filhas Pietra, Maitê e Alícia.

Ao meu pai Evandro Manoel de Andrade.

OFEREÇO

À minha mãe Neide Azevedo Oliva de Andrade (*in memoriam*) pelo amor incondicional e de dedicação à minha vida – *Combati o bom combate, acabei a carreira, guardei a fé.*

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original”

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

A DEUS pela saúde.

À minha esposa Kátia pelo amor, companheirismo, compreensão e incentivo para a conclusão de mais uma etapa de nossas vidas.

Às minhas amadas filhas Pietra, Maitê e Alícia, que crianças ainda, por várias vezes, não receberam meu beijo ao amanhecer e anoitecer, em função da minha ausência.

Ao meu pai Evandro, irmã Gabriela, irmãos Evandro Júnior e Cássio, pelo amor e apoio.

À minha mãe, D. Neide (*in memorian*), por ter sido um exemplo de mulher, vida e luta. Que Deus a tenha consigo.

Às minhas queridas cunhadas, cunhado, sobrinhas e afilhados, pelo carinho.

À minha querida sogra, D. Iná, exemplo de determinação e que foi uma grande incentivadora do meu mestrado.

Ao meu amigo Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti pela colaboração e apoio ao meu retorno à vida acadêmica.

Ao meu amigo Eng. Agr. M. Sc. Marcelo Carminatti de Almeida, pelas longas conversas agradáveis sobre agronomia.

Ao Sr. Fábio Zucchi Rodas (*in memorian*) pela formação do meu caráter profissional.

Ao amigo e empresário Niwton Luiz Rodrigues, pelos anos de convivência e permitir que este trabalho fosse realizado, parcialmente, em uma de suas fazendas.

À FCAV - UNESP - Câmpus de Jaboticabal, pela oportunidade e receptividade.

Ao Prof. Dr. José Renato Zanini, pelas sábias orientações, companheirismo e amizade.

Ao Prof. Dr. Roberto Rezende e Prof. Dr. Rogério Teixeira de Faria pelas importantes sugestões durante a defesa desta dissertação.

Ao Prof. Dr. Luiz Carlos Pavani, pela convivência e ensinamento.

Aos demais professores que me ministraram aula no curso de mestrado, pelo aprendizado.

Aos colegas Ana, Olegário e Paulo, pela troca de experiência.

À colega Cristiana Araújo Soares, pelo auxílio na coleta de dados.

À empresa Stocler Irrigação Ltda, pelo auxílio financeiro à implantação do experimento.

Aos funcionários da Stocler (Gerusa, Gustavo, Paulo, Danilo, Antônio, Maicon, Anderson, Jorge e Rivelino) pela paciência nos momentos de nervosismo.

À empresa Netafim Brasil pelo fornecimento de materiais.

Àqueles, que de forma direta ou indiretamente, fizeram parte desta conquista.

Meu muito obrigado!!!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Área irrigada no Brasil.....	3
2.2. Irrigação localizada - microirrigação.....	3
2.3. Indicadores de desempenho hidráulico.....	5
2.3.1. Uniformidade de vazão.....	5
2.3.2. Curva de distribuição de água, diâmetro de cobertura e padrão de molhamento.....	10
2.3.3. Coeficientes de uniformidade	12
3. MATERIAL E MÉTODOS	15
3.1. Localização da área experimental.....	15
3.2. Fonte de água e instalações hidráulicas	15
3.3. Bomba de pressurização.....	15
3.4. Ligação de pressão da bomba de pressurização.....	15
3.5. Bancada de ensaio de uniformidade de vazão.....	16
3.6. Material para o ensaio de uniformidade de distribuição de água	18
3.6.1. Local.....	18
3.6.2. Coletores	18
3.7. Microaspersores.....	19
3.7.1. Microaspersores usados	19
3.7.2. Microaspersores novos	23

3.8. Comparação de desempenho hidráulico de microaspersores autocompensantes, novos e usados	23
3.8.1. Identificação e caracterização dos microaspersores	23
3.8.2. Ensaio de uniformidade de vazão e coeficiente de variação de fabricação e vazão (CVF e CVQ)	25
3.8.3. Ensaio de coeficiente de uniformidade de distribuição de água, diâmetro de cobertura e padrão de molhamento	26
3.8.4. Calibração de pressão	27
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1. Uniformidade de vazão	29
4.2. Avaliação estatística	30
4.3. Coeficiente de variação de fabricação e vazão (CVF e CVQ)	31
4.4. Uniformidade de distribuição de água	32
4.4.1. Raio e diâmetro de cobertura	32
4.4.2. Padrão de molhamento	36
4.4.3. Coeficientes de uniformidade - CUC e CUD	42
5. CONCLUSÃO	44
6. REFERÊNCIAS	45

DESEMPENHO HIDRÁULICO DE MICROASPELOR AUTOCOMPENSANTE, NOVO E USADO

RESUMO – Dentre outras características, para que a irrigação seja eficiente tecnicamente e economicamente, é imperativo que os sistemas apresentem ampla durabilidade e elevada uniformidade de aplicação da água. Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi de avaliar o desempenho hidráulico de microaspersores autocompensantes da marca Netafim modelo SuperNet LR com vazão nominal de 35 L h^{-1} , novos e usados com 4.265 horas de funcionamento decorrentes de 9 anos de instalação, submetidos a pressões de 170, 250, 350 e 450 kPa. O trabalho foi realizado no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias “Júlio de Mesquita Filho” da Universidade Estadual Paulista. Para a implantação e interpretação do experimento, utilizou-se a norma da ABNT 04:015.08-015 de janeiro de 2004. Foram avaliados a uniformidade de vazão, os coeficientes de variação de fabricação e vazão (CVF e CVQ), as curvas de distribuição média de água, os diâmetros de cobertura, os padrões de molhamento, os coeficientes de uniformidade de distribuição (CUD) e os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) com sobreposição de 100% do raio de alcance. Para a interpretação do ensaio de vazão e intervalo de compensação de pressão, foi efetuado uma disposição experimental do tipo fatorial 2×4 com 10 repetições e aplicado o teste de Tukey a 5% probabilidade. Os microaspersores novos e usados não diferiram em relação ao coeficiente de variação de fabricação e de vazão, sendo classificados como excelentes. Os diâmetros de cobertura dos emissores novos e usados foram de 6 m, sendo igual ao apresentado no catálogo do fabricante. Nos microaspersores novos e usados as maiores intensidades de aplicação foram encontradas a 0,25 m de distância do emissor, decrescendo ao distanciar-se do microaspersor. Houve diferenças significativas nas vazões dos microaspersores dentro do intervalo de compensação de pressão. Os microaspersores, novos e usados, não diferiram em relação às variações de vazão apresentando variações máximas superiores a 10% (inaceitável segundo ABNT, 2004), apenas para 250 kPa. As variações médias de vazão desviaram-se mais que 2,5% em relação a vazão nominal de catálogo (inaceitável segundo ABNT, 2004). Com sobreposição de 100% do raio de molhamento, os valores médios de CUC foram de 83,6% para os microaspersores novos e 84,1% para os microaspersores usados e os valores de CUD foram de 75,2% para os novos e 75,9% para os usados, não diferindo estatisticamente. Para as condições onde está instalado o sistema de irrigação, incluindo o manejo da cultura e do sistema, a vida útil dos microaspersores autocompensantes pode ser considerada maior que 9 anos ou 4.265 h de funcionamento.

Palavras-chave: distribuição de água, irrigação localizada, microirrigação, uniformidade de aplicação de água

SELF-COMPENSATING MICROSPRINKLER HYDRAULIC PERFORMANCE, NEW AND USED

ABSTRACT - Among other features, so that irrigation is effective technically and economically, it is imperative that the systems have ample durability and high uniformity of water application. The objective of this study was to evaluate the hydraulic performance of the self-compensating microsprinklers Netafim model SuperNet LR with nominal flow rate of 35 L h^{-1} , new and used with 4,265 hours of operation and to 9 years of installation, subjected to pressures 170, 250, 350 and 450 kPa. The work was performed in the hydraulics laboratory of the Department of Agricultural Engineering, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – São Paulo State University. For the implementation and interpretation of the experiment, it was used ABNT 04:015.08-015 January 2004. It was evaluated the uniformity of flow, the coefficients of manufacturing and flow (CVF and CVQ), the curves of average distribution of water, the diameters of coverage, patterns of wetness, the coefficients of distribution uniformity (CUD) and the Christiansen uniformity coefficient (CUC) with overlapping 100% of range. For the interpretation of the test flow range and pressure compensation, a provision was made experimental type 2 x 4 factorial with 10 replications and applied the Tukey test at 5% probability. The microsprinklers new and used did not differ with respect to the coefficient of variation of manufacturing and flow, being classified as excellent. The diameters of coverage of new and used emitters were 6 m, being the same as in the manufacturer's catalog. In the new and used microsprinklers the highest levels of application were found at 0,25 m distance from the emitter, decreasing to distance itself from the microsprinklers. There were significant differences in the flows of microsprinklers within the range of pressure compensation. The microsprinklers, new and used, did not differ with respect to variations in flow showing maximum variations exceeding 10% (unacceptable second ABNT, 2004), only 250 kPa. The mean changes in flow strayed more than 2,5% over nominal flow catalog (unacceptable second ABNT, 2004). With overlapping of 100% of the wet ray, the average values of CUC had been of 83,6% for the new microaspersores and 84.1% for the used microaspersores and the values of CUD had been of 75,2% for new and 75.9% for the used ones, not differing statistical. For the conditions where the irrigation system is installed, including the management of the culture and the system, the useful life of the self-compensating microsprinklers can be considered bigger who 9 years or 4,265 hours of functioning.

Keywords: water distribution, localized irrigation, microirrigation, water application uniformity

1. INTRODUÇÃO

A irrigação na moderna agricultura não deve ser entendida como um seguro contra a seca, mas como uma técnica que dê condições para que o material genético expresse em máximo o seu potencial produtivo. Quando bem utilizada, a irrigação é um instrumento muito eficaz no aumento da produtividade e rentabilidade, permitindo, por exemplo, a racionalização de insumos com a fertirrigação. No entanto, para que a irrigação seja eficiente tecnicamente e economicamente, é imperativo que os sistemas apresentem ampla durabilidade e elevada uniformidade de aplicação da água.

A irrigação localizada destaca-se dos outros sistemas por aplicar a água diretamente no solo e próximo ao sistema radicular. É a técnica que permite operar com baixas pressões e alta eficiência, apresentando como desvantagem o elevado risco de entupimento e aumento da vazão em função do desgaste dos emissores, quando utilizados excessivamente (BOMAN; PARSONS, 1993).

Dentre os sistemas de irrigação localizada, destaca-se a microaspersão. Nesse sistema, utilizam-se os microaspersores, que são dispositivos que distribuem a água, de forma pulverizada ou não, com ou sem movimento rotativo de partes dos mesmos, na forma de jatos fracionados em pequenas gotas, finos jatos contínuos ou em formato de leque.

A principal finalidade de ensaios de equipamentos utilizados em sistemas de irrigação localizada consiste na determinação e avaliação de suas características hidráulicas (SIQUEIRA; BARROS JÚNIOR, 2003).

Do ano de 1998 a 2008, com o crescimento da área irrigada no Brasil e a demanda elevada por equipamentos de irrigação localizada, o mercado brasileiro apresentou crescimento do número de fabricantes e principalmente importadores de microaspersores, com características hidráulicas pouco conhecidas ou desconhecidas. Inclusive, existe escassez de conhecimento do comportamento desses emissores após determinado tempo. Acredita-se que o desgaste das peças do emissor possa alterar o comportamento hidráulico dos microaspersores, influenciando na vazão e uniformidade de aplicação de água com a desconfiguração do projeto inicialmente estabelecido para a área irrigada.

Com este trabalho teve-se como objetivo a avaliação do comportamento hidráulico de microaspersores da marca Netafim modelos Supernet LR novos e usados com 9 anos de instalação em campo e 4.265 horas de funcionamento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Área irrigada no Brasil

O crescimento da área irrigada está relacionado à demanda mundial por alimentos e, conseqüentemente, ao desenvolvimento de novos produtos destinados a irrigação. Com os dados do Ministério da Agricultura de 1999, o Brasil possuía área irrigada de 2,7 milhões de hectares (PINAZZA, ALIMANDRO, 1999). Porém, a estimativa das áreas irrigadas em 2003/2004, segundo Christophidis (2006) foi de 3,44 milhões de hectares (Tabela 1).

Tabela 1. Estimativa da distribuição das áreas irrigadas pelos diferentes métodos de irrigação no Brasil, em 2003/2004 (ha).

Superfície	Aspersão Convencional	Pivô Central	Localizada	Total
1.729.834	662.328	710.553	337.755	3.440.470

Fonte: Christophidis (2006)

2.2 Irrigação localizada - microirrigação

A irrigação localizada, também definida como microirrigação, é o método de irrigação que permite aplicar água diretamente ao solo e próximo ao sistema radicular, em baixa intensidade e alta frequência, por meio de emissores dos tipos gotejadores e microaspersores, principalmente, estabelecendo condições hídricas favoráveis ao desenvolvimento das culturas. Quando bem utilizada, é um instrumento muito eficaz no aumento da produtividade e rentabilidade, permitindo o uso da fertirrigação, promovendo melhor aproveitamento de fertilizantes, e possibilitando o parcelamento da aplicação de adubos de acordo com a frequência de irrigação (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009).

Quando comparada com outros métodos, a irrigação localizada tem a vantagem de funcionar com baixas pressões de serviço e, conseqüentemente, menor potência instalada e consumo de energia (CURTIS; POWELL; TYSON, 1996). Outras vantagens são as maiores eficiências na utilização da água, economia de mão de obra, possibilidade de instalação em diferentes topografias e solos e no controle fitossanitário por preservar seca a parte aérea das culturas de copa alta e

grande porte de planta, minimizando os gastos com inseticidas e fungicidas. No caso de aplicação de efluentes que podem possuir substâncias nocivas à saúde humana, a irrigação localizada por gotejamento também apresenta a vantagem de minimizar o contato direto da água contaminada com o agricultor e com o produto agrícola comercializado (CARARO et al., 2006).

Existem várias vantagens da irrigação localizada, porém, limitações quanto ao uso devem ser ressaltadas como o elevado potencial de entupimento dos emissores, necessidade de manutenção do sistema com maior frequência e restrições a determinadas qualidades de água.

O gotejamento é composto por emissor que é o dispositivo instalado numa lateral de irrigação e projetado para descarregar água na forma de gotas ou fluxo contínuo, à vazão que não exceda 24 L h^{-1} , exceto durante o processo de lavagem (ABNT, 2006). Também funcionam como dissipadores de energia, em virtude de que devem reduzir a pressão nominal de entrada para zero, à saída das gotas (GOMES, 1997). Sua forma construtiva e de inserção ao tubo lateral da irrigação o caracterizam de emissor *in-line*, emissor *on-line*, emissor de múltiplas saídas, emissor múltiplo, tubo emissor, emissor/tubo emissor regulado, emissor/tubo emissor regular, emissor/tubo emissor antidrenante e emissor/tubo emissor não regulado (ABNT, 2006).

A microaspersão utiliza microaspersor que é o dispositivo que distribui água, de forma pulverizada ou não, com ou sem movimento rotativo de partes do mesmo, na forma de jatos fracionados em pequenas gotas, finos jatos contínuos ou em formato de leque. Segundo ABNT (2004) são definidos como:

- Microaspersor regulado - microaspersor compensador de pressão (Figura 1a): microaspersor com vazão relativamente constante, mediante pressões variáveis em sua entrada, dentro dos limites especificados pelo fabricante como intervalo de compensação;
- Microaspersor não regulado - microaspersor não compensador de pressão (Figura 1b): microaspersor com vazão variável, mediante pressões variáveis em sua entrada.



Figura 1. Microaspersor regulado (a) e não regulado (b).

Bernardo; Soares e Mantovani (2006) definem que os microaspersores são pequenos aspersores de plástico, normalmente instalados sobre a linha lateral, aplicando vazões, de forma pulverizada, na faixa de 20 a 150 L h⁻¹, sob pressões de serviço que variam, geralmente, de 10 a 30 m.c.a.

Os microaspersores autocompensantes apresentam vazões praticamente constante para uma determinada faixa de pressão e, geralmente, abaixo da vazão mínima de regulagem, apresentam a característica de autolimpeza (ZANINI; PAVANI; TAROZZO, 1998).

2.3 Indicadores de desempenho hidráulico

2.3.1 Uniformidade de vazão

A principal finalidade de ensaios de equipamentos utilizados em sistemas de irrigação localizada consiste na determinação e avaliação de suas características hidráulicas (SIQUEIRA; BARROS JÚNIOR, 2003).

A baixa uniformidade de distribuição de água de gotejadores e microaspersores são atribuídas, 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, atendendo, em parte, as necessidades hídricas das plantas.

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).

Para se conhecer o nível de eficiência de um sistema de irrigação é necessário que se façam avaliações sistemáticas, e essas para serem completas requerem a análise de fatores como superfície molhada e a avaliação do funcionamento de acessórios como emissores, filtros, reguladores de pressão e válvulas volumétricas (SOUZA et al., 2005).

A relação entre vazão e pressão na entrada do microaspersor, a perda de carga localizada na inserção da linha lateral, o alcance do jato, o diâmetro, a forma dos bocais e a intensidade de precipitação constituem as principais características hidráulicas do microaspersor (BOTREL, 1984).

A vazão de um emissor, de acordo com Olitta (1984) deve ser representada pela Equação 1:

$$q = K H^x \quad (1)$$

em que:

q - vazão do emissor ($L h^{-1}$);

K - constante de proporcionalidade, relacionada com a área do orifício e com o coeficiente de descarga (adimensional);

H - pressão de operação (kPa);

x - expoente característico do regime de fluxo (adimensional).

Um emissor perfeito teria o expoente $x = 0$ (autocompensante), os de regime laminar $x = 1$ e nos de regime turbulento $x < 1$ (PIZARRO CABELLO; 1996). Keller e

Karmeli (1974) consideram de regime laminar os emissores com expoente $x = 1$ e de regime turbulento os com $x = 0,5$.

Por mais precisos que sejam os processos de fabricação, os emissores apresentam diferenças milimétricas, cujas consequências se refletem nos valores do coeficiente de descarga, K , e no expoente de descarga, x (AZEVEDO, 1986). Conforme Costa (1994) por mais aprimorados que sejam os processos de fabricação, sempre ocorrem variações e, como a área de escoamento dos emissores é muito pequena, qualquer variação poderá afetar as vazões dos emissores a uma mesma pressão. De acordo com Dantas Neto et al. (1997), pequenas diferenças entre dois emissores aparentemente idênticos podem causar variações significativas na vazão do sistema. Segundo Andrade (2008), é também usual a divulgação da vazão por metro de linha lateral, calculada a partir da Equação 2:

$$q_{es} = \frac{K H^x}{es} \quad (2)$$

q_{es} - vazão por metro de linha lateral ($L h^{-1} m^{-1}$);

es - espaçamento entre emissores (m).

De acordo com as Equações 1 e 2, para emissores com expoente de descarga x maiores que zero, a vazão dos emissores ao longo da linha lateral não é uniforme. Isto porque a distribuição de pressão ao longo dessa lateral será decrescente da entrada para o fim, devido às perdas de carga ao longo da tubulação, desnível e perdas localizadas. A relação vazão-pressão, a perda de carga ao longo da linha lateral e no emissor e o percurso da água no mesmo, constituem as características hidráulicas que influenciam diretamente o desempenho do sistema de irrigação por gotejamento. Essas características dependem do tipo de emissor, do material, do processo de fabricação e da forma de conexão do emissor na linha (FRIZZONE et al., 1998).

Qualquer variação na vazão dos emissores na área do projeto poderá afetar a lâmina de irrigação aplicada às plantas. O desempenho hidráulico de um emissor é determinado, dentre outros fatores, pelo coeficiente de variação de fabricação

(CVF), que é uma medida de variação de fluxo causada pela variação no processo de fabricação (ABREU et al., 1987).

O processo de fabricação dos emissores e a matéria prima empregada fazem com que os emissores de um mesmo modelo não sejam exatamente iguais entre si, proporcionando vazões diferentes quando submetidos à mesma pressão de operação. Os emissores são todos feitos de plásticos e existem numerosas variáveis de controle nas máquinas injetoras e extrusoras, como pressão, temperatura e velocidade de injeção, temperatura do molde, tempo do ciclo do processo e manutenção do molde. Qualquer mudança na temperatura, pressão e tempo de esfriamento da moldagem afeta as características do emissor, por exemplo, o tamanho, forma, peso, rugosidade das superfícies e a resistência (ANDRADE, 2005).

A vazão de um grupo de emissores submetidos à mesma pressão é uma variável aleatória contínua e as causas de variação são devidas aos mesmos efeitos construtivos. A dispersão de valores, que neste caso ocorre entre os emissores pode ser medida de diferentes formas. Uma delas é o desvio padrão. Entretanto, o desvio padrão tem o inconveniente de ser uma medida absoluta, sendo mais conveniente a expressão na forma de dispersão relativa, para a qual se emprega o coeficiente de variação, que se define pela relação entre o desvio padrão e o valor médio (SOLOMON, 1979b; PIZARRO CABELLO, 1996; FRIZZONE et al., 2003).

O coeficiente de variação de fabricação (CVF) é uma medida estatística que avalia a variação do processo de fabricação dos emissores. Em se tratando de emissores usados, o CVF é definido como coeficiente de variação de vazão (CVQ). Apesar de ser impossível a fabricação de um grupo de emissores com o mesmo coeficiente de descarga, a variação resultante do processo de fabricação normalmente tende a distribuir-se em torno de um valor médio (KELLER e KARMELI, 1974; BRALTS et al., 1981). Conforme Solomon (1979b), o CVF é o melhor parâmetro para a avaliação das diferenças individuais entre os emissores; também, é uma informação que representa bem o projeto do emissor, materiais usados na sua construção e cuidados aplicados na sua fabricação. A variação da vazão do emissor, resultado da variação de fabricação, segue a distribuição normal

de Gauss; deste modo, o CVF pode ser definido pela razão entre o desvio-padrão da vazão do emissor e sua vazão média, conforme a Equação 3:

$$\text{CVF ou CVQ} = \frac{\sqrt{\frac{q_1^2 + q_2^2 + \dots + q_n^2 + nq_m^2}{n-1}}}{q_m} \quad (3)$$

em que:

CVF - coeficiente de variação de fabricação (decimal);

CVQ - coeficiente de variação de vazão (decimal);

q_1, q_2, \dots, q_n - vazão de cada emissor ($L h^{-1}$);

q_m - vazão média dos emissores ($L h^{-1}$);

n - número de emissores do lote de amostragem.

Existem várias especificações de comportamento para os emissores com base no CVF. Sugeriu Solomon (1979a), uma amostra representativa de no mínimo 50 gotejadores, podendo usá-lo para microaspersores. Na Tabela 2, tem-se a interpretação dos valores.

Tabela 2. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVF) de emissores (SOLOMON, 1979a).

CVF	Interpretação
$\leq 0,03$	Uniformidade excelente
$> 0,03$ a $0,07$	Uniformidade média
$> 0,07$ a $0,10$	Uniformidade baixa
$> 0,10$ a $0,14$	Uniformidade pobre
$> 0,14$	Uniformidade inaceitável

Fonte: Solomon (1979a)

De acordo com ASAE (1999), o CVF pode ser classificado de acordo com a Tabela 3, enquanto que a Associação Brasileira de Normas Técnicas, em seu projeto de norma (ABNT, 1986), classifica os emissores conforme descrito na Tabela 4.

Tabela 3. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVF) de emissores (ASAE, 1999).

CVF	Interpretação
$\leq 0,05$	Uniformidade excelente
$> 0,05$ a $0,07$	Uniformidade média
$> 0,07$ a $0,10$	Uniformidade baixa
$> 0,10$ a $0,15$	Uniformidade marginal
$> 0,15$	Uniformidade inaceitável

Fonte: ASAE (1999)

Tabela 4. Classificação do coeficiente de variação de fabricação (CVF) de emissores (ABNT, 1986).

CVF	Interpretação
$\leq 0,10$	Uniformidade boa
$> 0,10$ a $0,20$	Uniformidade média
$> 0,20$ a $0,30$	Uniformidade marginal
$> 0,30$	Uniformidade inaceitável

Fonte: ABNT (1986)

Para não prejudicar a uniformidade de aplicação de água recomenda-se que a variação de vazão máxima dos gotejadores seja menor que 10% em todo o sistema de irrigação (MERRIAM; KELLER, 1978). Para o ensaio de uniformidade de vazão, os microaspersores têm que ser previamente examinados visualmente, sem que tenham sido desmontados, avaliando-se o acabamento e qualidade. Quando medir a vazão dos microaspersores regulados, deve-se anotar a vazão máxima e mínima, dentre as diferentes vazões dentro do intervalo de compensação de pressão para cada microaspersor. Recomenda-se também calcular a vazão média a partir dos resultados obtidos para os quatro microaspersores. As vazões máxima e mínima não devem desviar mais que 10% da vazão nominal, dentro do intervalo de compensação. A vazão média não deve desviar mais que 2,5% da vazão nominal (ABNT, 2004).

2.3.2 Curva de distribuição de água, diâmetro de cobertura e padrão de molhamento

Como a maioria dos aspersores aplica água em áreas circulares, há a necessidade de sobreposição para se obter uniformidade satisfatória, pois existem diversos fatores que afetam direta ou indiretamente esta uniformidade (BERNARDO;

SOARES; MANTOVANI, 2006). O perfil de distribuição do microaspersor regulado DAN 2001, com bocal de diâmetro de 0,9 mm e pressão de serviço de 200 kPa, apresentou raio efetivo de 2,25 m e intensidade pluvial máxima na região mais próxima ao emissor, com redução gradativa ao distanciar-se do microaspersor. A 1 m de distância a intensidade aumentou ligeiramente, voltando a decrescer até a extremidade correspondente ao raio molhado máximo (MATOS et al., 1999).

O ensaio de distribuição pluviométrica caracteriza e determina o funcionamento do microaspersor sobre a superfície irrigada. As curvas pluviométricas indicam a precipitação horária que recebe o terreno, enquanto que as isoietas delimitam a área molhada por diferentes precipitações (DANTAS NETO et. al., 1997). Em trabalho apresentado por Cunha, Cunha e Freire (2012) concluiu-se que o microaspersor MF, de vazão nominal de 63 L h^{-1} , apresentou vazões 25% menores que as informadas pelo catálogo do fabricante e que o perfil de distribuição tridimensional e as isoietas de precipitação apresentaram-se irregulares.

Segundo ABNT (2004), para a avaliação da curva de distribuição de água de um microaspersor regulado - compensador de pressão deve-se realizar ensaio em área coberta, em condições de ausência de correntes de ar, ou em área aberta na ausência de vento. O piso deve ser nivelado e dividido em quadrados com dimensões laterais máximas de 0,5 m para microaspersor com diâmetro efetivo de cobertura de até 6,0 m, ou dimensões laterais máximas de 1,25 m para microaspersor com diâmetro efetivo de cobertura superiores a 6,0 m. Colocar os coletores para recolher a água aplicada pelos microaspersores que estão sendo ensaiados nos cantos de cada quadrado. Para ensaio de microaspersores que aplicam água em setores circulares, a locação dos coletores pode ser limitada somente ao setor molhado, com o microaspersor localizado no centro geométrico do setor circular. O número de coletores deve ser suficiente para cobrir toda a área de cobertura do microaspersor. Instalar um microaspersor a ser ensaiado de forma que seu jato de água seja aplicado à altura de 20 cm acima das aberturas dos coletores (Figura 2), a menos que o fabricante recomende uma altura diferente de 20 cm. Funcionar o microaspersor durante 1 hora com pressão de ensaio constante na entrada do emissor. Para o diâmetro de cobertura, deve-se medir a distância ao longo de dois raios desde o microaspersor até o ponto mais distante no qual este

deposita água à taxa mínima de $0,25 \text{ mm h}^{-1}$ para microaspersores com vazão superior a 75 L h^{-1} , e à taxa mínima de $0,13 \text{ mm h}^{-1}$ para microaspersores com vazão igual ou inferior a 75 L h^{-1} , em qualquer arco de cobertura, exceto nas extremidades do arco para microaspersores setoriais. O diâmetro de cobertura é a média das duas distâncias multiplicadas por 2, devendo estar em conformidade com os valores fornecidos pelo fabricante, com um desvio permitido menor ou igual a 10%.

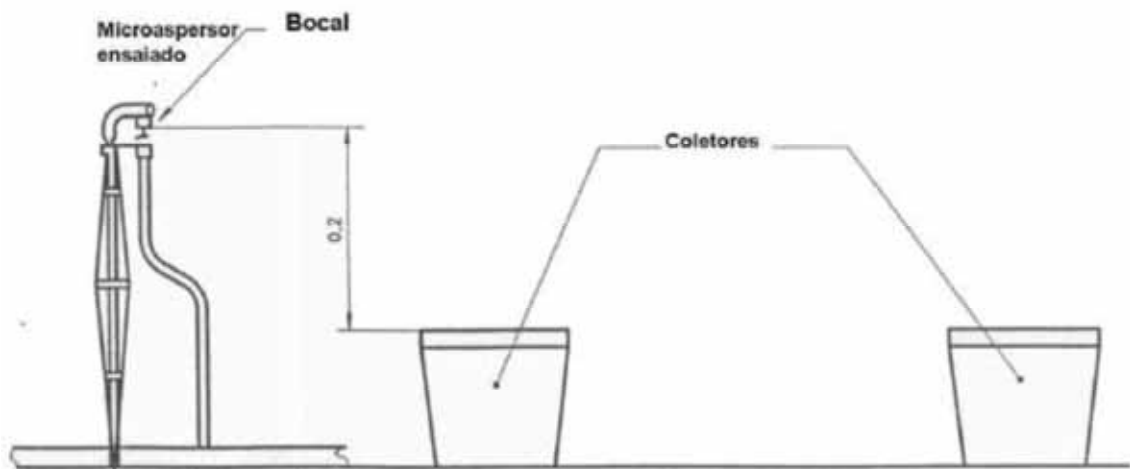


Figura 2. Orientação de instalação para o ensaio de distribuição de água (ABNT, 2004).

Para o padrão de molhamento, de acordo com a norma ABNT (2004), deve-se funcionar o microaspersor por um período mínimo de 1 h enquanto a pressão de ensaio é mantida constante na entrada do microaspersor. Após a conclusão, medir a quantidade de água coletada em cada um dos coletores localizados na área de cobertura e anotar seus valores. Plotar as curvas (isolinhas), interligando os pontos interpolados de mesmas taxas coletadas. A distribuição de água obtida no padrão de molhamento do microaspersor ensaiado deve estar em conformidade com o padrão molhado fornecido pelo fabricante.

2.3.3 Coeficientes de uniformidade

Para representar numericamente a uniformidade de distribuição de um sistema de irrigação existem alguns coeficientes de uniformidade que são comumente citados na literatura específica (MERRIAN e KELLER, 1978; DENÍCULI et al., 1980; PIZARRO

CABELLO, 1996; RODRIGO LÓPEZ et al., 1992; FRIZONE e DOURADO NETO, 2003) e amplamente utilizados em avaliações de campo (BONOMO, 1999; SOUZA, 2000; SOUZA et al., 2001; CHAMON, 2002; CORDEIRO, 2002).

A uniformidade de distribuição ou aplicação, de forma geral, expressa o grau de uniformidade das lâminas de irrigação, isto é, indica como a água está sendo distribuída na superfície irrigada e se as plantas estão recebendo quantidades equivalentes de água. Tal indicador caracteriza qualquer sistema de irrigação e intervém em seu dimensionamento, tanto o agrônomo, pois afeta o cálculo das necessidades totais de água, como o hidráulico, pois em função dela são definidos os limites permitidos de variação de vazão dos emissores (PIZARRO CABELLO, 1996). Ademais, a uniformidade de distribuição na irrigação afeta a capacidade de economia de água dos sistemas e a produtividade da lavoura (PEREIRA et al., 2002).

O índice de uniformidade frequentemente utilizado para avaliar sistemas de irrigação localizada instalados é o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) (Equação 4), que leva em consideração os 25% do total das observações com menores vazões em relação à vazão média aplicada.

$$CUD = 100 \left(\frac{q_n}{\bar{y}} \right) \quad (4)$$

em que:

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

q_n – média das menores precipitações, representando 25% do total avaliadas;

\bar{y} – média de todas as precipitações coletadas (mm).

O coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), que também pode ser usado para determinar a uniformidade de aplicação em sistemas localizados, permite a obtenção de resultados confiáveis, porém, requer a medição da vazão de muitos emissores do sistema, demandando muito tempo e muita mão-de-obra (FRIZZONE; DOURADO NETO, 2003). A determinação de CUC é dada por:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n |Y_i - \bar{y}|}{n\bar{y}} \right) \quad (5)$$

em que:

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

Y_i – lâmina de água coletada, no i -ésimo coletor (mm);

n – número de precipitações coletadas.

Um dos principais parâmetros para avaliação de um sistema de irrigação é a uniformidade de aplicação de água na superfície da área irrigada. A uniformidade tem impacto na eficiência dos sistemas de irrigação, a qual esta relacionada com a quantidade de água necessária ao desenvolvimento e ao rendimento de determinada cultura (RESENDE; COELHO; PIEDADE; 2000). A uniformidade de aplicação descreve a regularidade com que um sistema de irrigação distribui a água em determinada área. A melhoria da uniformidade de água aplicada pode ser obtida pela adoção de práticas de manejo, como limpeza periódica mais criteriosa do sistema de filtragem, possibilitando maior pressão nos pontos de emissão, assim como desentupimento dos gotejadores e limpeza das tubulações laterais. Pinto, Soares e Nascimento (1988) realizaram-se um estudo comparativo entre vários métodos propostos para determinar a uniformidade de distribuição de água na irrigação por gotejamento e o método que obteve melhores resultados foi o de Christiansen. Entretanto, Bralts, Wu e Gitlin (1981) afirmam que a uniformidade de aplicação é, em geral, somente função das variações próprias do emissor e da variação de pressão ao longo da linha, sendo essas causas, independentes. Essa independência, conforme Clemmens (1987), somente é aceita quando o emissor possui descarga constante, diminuindo assim o efeito provocado pela variação de pressão ao longo da linha lateral.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O experimento foi conduzido no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP, em Jaboticabal – SP. O laboratório possui formato retangular de 9,0 m x 8,0 m, pé direito de 4,0 m, fechamento em alvenaria, com piso nivelado e revestido com cerâmica. Para ventilação, possui vitrôs nas laterais com fechamento manual e porta de acesso tipo corrediça. A cobertura é confeccionada com treliças metálicas e folha de aço galvanizado siderúrgico, com forração do tipo PVC.

3.2 Fonte de água e instalações hidráulicas

Distante externamente a 4,0 metros da lateral do laboratório, a céu aberto, foi instalada uma caixa de fibrocimento com capacidade de 500 litros. Seu abastecimento de água é realizado automaticamente por meio de uma bóia mecânica e interligada ao sistema privado de abastecimento de água do Câmpus. Através de conexões e tubos de PVC soldável NBR 5648 com diâmetro de 50 mm, a água é fornecida, por gravidade, à bomba de pressurização que está instalada no interior do laboratório. Em conformidade com a Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011, a água apresenta padrão de potabilidade e qualidade para o consumo humano.

3.3 Bomba de pressurização

Para a pressurização da bancada de testes e microaspersores, foi instalada uma bomba da marca Eletroplas modelo ICA-100B, potência de 1 cv (736 W), monofásica, 220 volts, com as seguintes características hidráulicas: vazão e pressão máxima de $3 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e 550 kPa, respectivamente.

3.4 Ligação de pressão da bomba de pressurização

Com a finalidade de prevenir a obstrução do orifício e bocal de saída de água dos microaspersores, foi instalado, na saída da bomba, um filtro plástico de 1" de diâmetro com elemento filtrante de disco de 120 mesh. Utilizaram-se conexões

hidráulicas de PVC soldável NBR 5648 com diâmetro de 32 mm, válvula de gaveta de 1" e manômetro glicerinado tipo Bourdon com fundo de escala de 1 a 7 kgf cm⁻² (Figura 3). Por meio de tubo flexível, conectou-se, individualmente, a bancada de teste de uniformidade de vazão e o microaspersor para o teste de uniformidade de distribuição de água.



Figura 3. Instalação para pressurização do sistema.

3.5 Bancada de ensaio de uniformidade de vazão

Para o ensaio de uniformidade de vazão, foi adaptada e construída uma estrutura de aço com 2,90 m de comprimento e 1,52 m de altura, de formato triangular, com base apoiada ao piso de 1,42 m de largura (Figura 4). Na parte superior e distanciados a cada 0,48 m, localizaram-se os dispositivos de fixação dos microaspersores. Nessa bancada foi possível a colocação de 5 microaspersores em funcionamento. Para a instalação da forma convencional é necessário a fixação da cúpula de vidro para a coleta de toda a água que é aspergida pelo microaspersor. Essa cúpula foi fixada internamente à base do alojamento por 3 parafusos, fazendo com que toda a água coletada escorra-se até tubo de plástico flexível de 3/4" tipo cristal, localizado na parte inferior do dispositivo de coleta. Desse modo, todos os volumes coletados foram direcionados aos recipientes (Figura 5).



Figura 4. Bancada de ensaio de uniformidade de vazão.



Figura 5. Detalhe da bancada, cúpula e dispositivo de alojamento.

3.6 Material para o ensaio de uniformidade de distribuição de água

3.6.1 Local

Para a disposição dos coletores foi utilizado o piso plano do laboratório, de acordo com a norma ABNT (2004), conforme Figura 6.

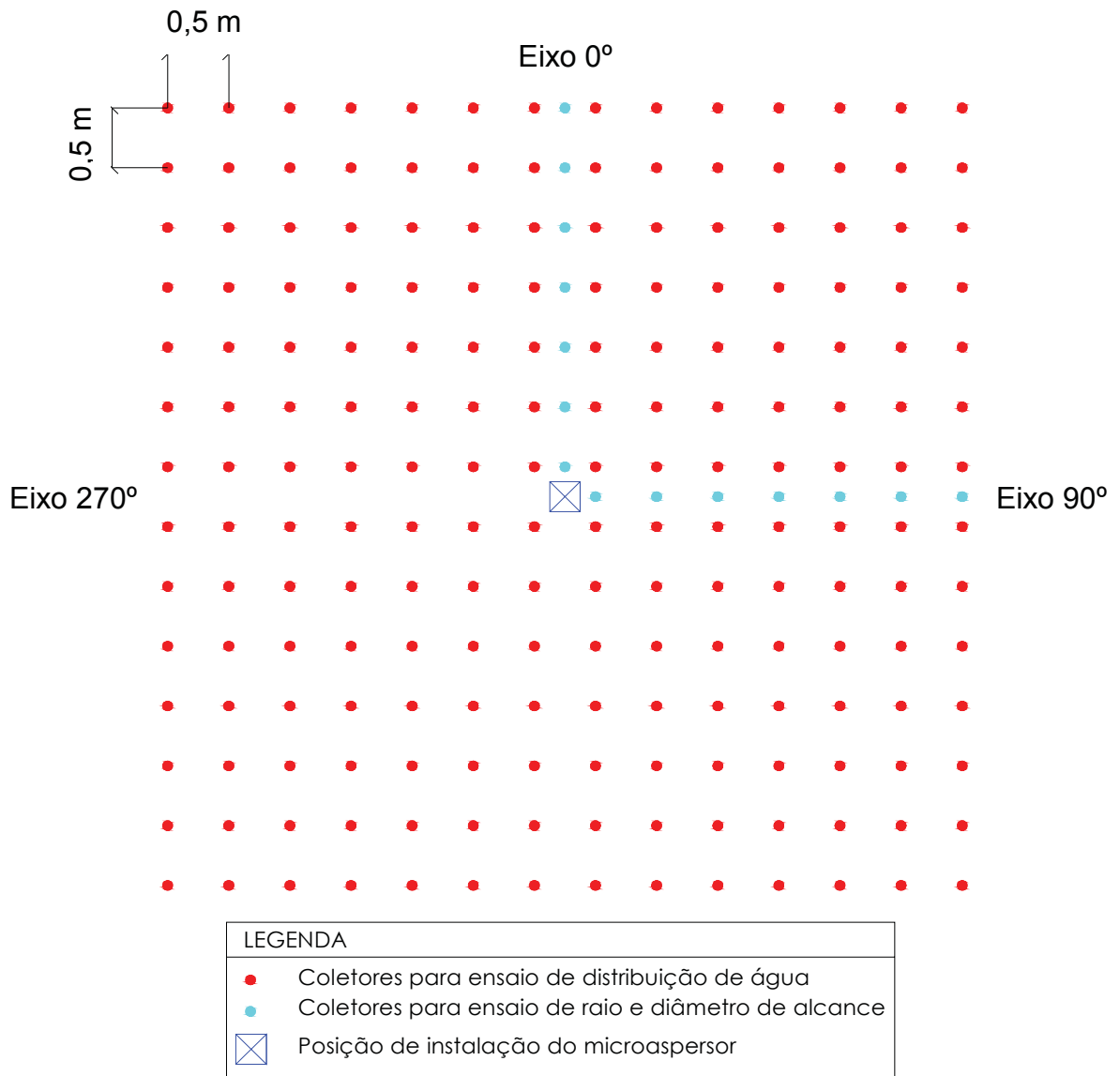


Figura 6. Croqui do ensaio de uniformidade.

3.6.2 Coletores

Utilizaram-se coletores da marca Fabrimar, de formato geométrico tronco-cônica, com diâmetro de 80 mm na parte superior e 100 mm de altura.

3.7 Microaspersores

3.7.1 Microaspersores usados

Foram utilizados nos ensaios 10 microaspersores autocompensantes da marca Netafim modelo SuperNet LR com vazão de 35 L h^{-1} . Estes emissores foram instalados no ano de 2003 em sistema de irrigação na Fazenda Boa Sorte, situada no município de Barretos – SP. As coordenadas geográficas da área irrigada são: $20^{\circ}40'48''$ de latitude sul e $48^{\circ}41'42''$ de longitude oeste, com altitude variando de 558 a 589 m. As coletas dos emissores foram efetuadas aleatoriamente, de forma “zig-zag”, tomando-se o cuidado para que fossem coletadas 5 unidades de cada talhão (Figura 7).

O sistema contempla um microaspersor por planta, localizado a 0,5 m do tronco. As plantas de laranja, variedade Natal (*Citrus aurantium* L.) estão plantadas em nível com 8 m de distância entre as linhas e 5 m entre as plantas (Figura 7). As plantas são adultas e foram plantadas em 1987.



Figura 7. Imagem de satélite da área irrigada da Fazenda Boa Sorte e forma de coleta dos microaspersores

A água para a irrigação da Fazenda é proveniente de um poço artesiano não jorrante, distante 680 metros da área irrigada. Para caracterização da qualidade da

água, efetuou-se em 22 de agosto de 2012 a amostragem da água para análise (Figura 8). Os resultados da análise foram comparados aos riscos sugeridos por Nakayama e Bucks (1986) (Tabela 6).

Requerido por: Stocler Irrigação Ltda. Endereço: Fazenda Boa Sorte Material Analisado: Água Subterrânea.		Cidade: Barretos – SP Coletor Responsável: Stocler M. de Andrade. Horário/Coleta: 15:30 Temperatura: 20°C Altitude: 578 m		
Data/Recebimento: 22/08/2012 Data/Início: 23/08/2012 Coordenadas: 20° 40' 42,35" S – 48° 41' 47,69" O				
Parâmetro	Unidade	*LQ	Resultado	**VMP
Ferro	mg/L	0,1	<0,1	0,3
Manganês	mg/L	0,1	<0,1	0,1
Sólidos dissolvidos totais	mg/L	1,0	114,4	1.000
Sólidos Suspensos	mg/L	0,01	6,0	-
Sulfeto de Hidrogênio	mg/L	0,001	<0,001	0,1
pH	Adimensional	0,1	8,54	6,0 a 9,5

Referência: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 22 Edition – Washington 2012.*

*L.Q.: Limite de Quantificação.

**V.M.P.: Valor Máximo Permitido estabelecido na Portaria nº 2914, de 12 de Dezembro de 2011.

Figura 8. Relatório de análise de água destinada a irrigação da Fazenda Boa Sorte, realizada pelo laboratório Lanatec, em São José do Rio Preto - SP.

Tabela 6. Risco potencial de obstrução de emissores segundo a qualidade da água de irrigação (Adaptado de Nakayama e Bucks (1986)).

Tipo de Problema	Risco		
	Baixo	Médio	Alto
Físico			
Sólido em suspensão (ppm)	< 50	100	> 100
Químico			
pH	< 7,0	7,0 a 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (ppm)	< 500	500 a 2000	> 2000
Mn (ppm)	< 0,1	0,1 a 1,5	> 1,5
Ferro Total (ppm)	< 0,2	0,2 a 1,5	> 1,5
SH ₂ (ppm)	< 0,2	0,2 a 2,0	> 2,0

Fonte: Nakayama e Bucks (1986)

O sistema de irrigação da Fazenda Boa Sorte está dividido em 4 setores, funcionando 1.650 microaspersores por setor. Caracteriza-se por ter um bombeamento direto, não armazenando a água em reservatório. O conjunto

motobomba do poço destina a água diretamente na sucção de outra bomba (Figura 9), denominada de “booster”, com a exclusiva função de elevar a pressão do sistema. Posteriormente, a água passa através de um hidrociclone com a função de separar possíveis sólidos em suspensão. Em sequência, a água passa pelos filtros de telas automatizados com elemento filtrante de 120 mesh (Figura 10) e percorre o trecho de linha primária até a área irrigada, que efetua, automaticamente, a irrigação dos setores conforme o planejamento da Fazenda. Nesse sistema de irrigação nunca foi efetuado fertirrigação e quimigação. As limpezas, quando efetuadas, foram executadas por arrasto, abrindo-se os finais de linha das linhas ramais e laterais.



Figura 9. Bombeamento direto do poço à bomba “booster”.

Para a determinação no tempo de funcionamento dos microaspersores, observou-se que o relógio medidor da concessionária de eletricidade (CPFL), é do mesmo mês e ano de instalação da implantação do sistema de irrigação (Figura 11) e de uso exclusivo para este sistema. Sabendo-se que a unidade da potência fixa é expressa em kW e que a quantidade consumida total é expressa em kWh, determinou-se o tempo de 4.265 horas de funcionamento dos microaspersores.



Figura 10. Hidrociclone e filtros de telas automatizados.



Figura 11. Indicação do ano de fabricação do relógio medidor da CPFL.

3.7.2 Microaspersores novos

Os 20 microaspersores novos utilizados no experimento foram fornecidos pela Netafim Brasil Sistemas e Equipamentos de Irrigação Ltda, sob número de nota fiscal eletrônica 000011857, datada de 06 de julho de 2012, com descrição do produto sendo: SuperNet 35 L/h LR auto-roscável sem estaca de 60 cm.

3.8 Comparação do desempenho hidráulico de microaspersores autocompensantes, novos e usados

3.8.1 Identificação e caracterização dos microaspersores

Em laboratório, os microaspersores, novos e usados, foram identificados e submetidos à avaliação visual de similaridade e integridade de suas peças fixas e móveis (Figuras 12 e 13). Observaram-se nos usados a possível existência de incrustações de matérias orgânicas e inorgânicas que pudessem interferir nos resultados dos ensaios. Os microaspersores apresentaram-se idênticos e em condições para os testes de desempenho hidráulico.

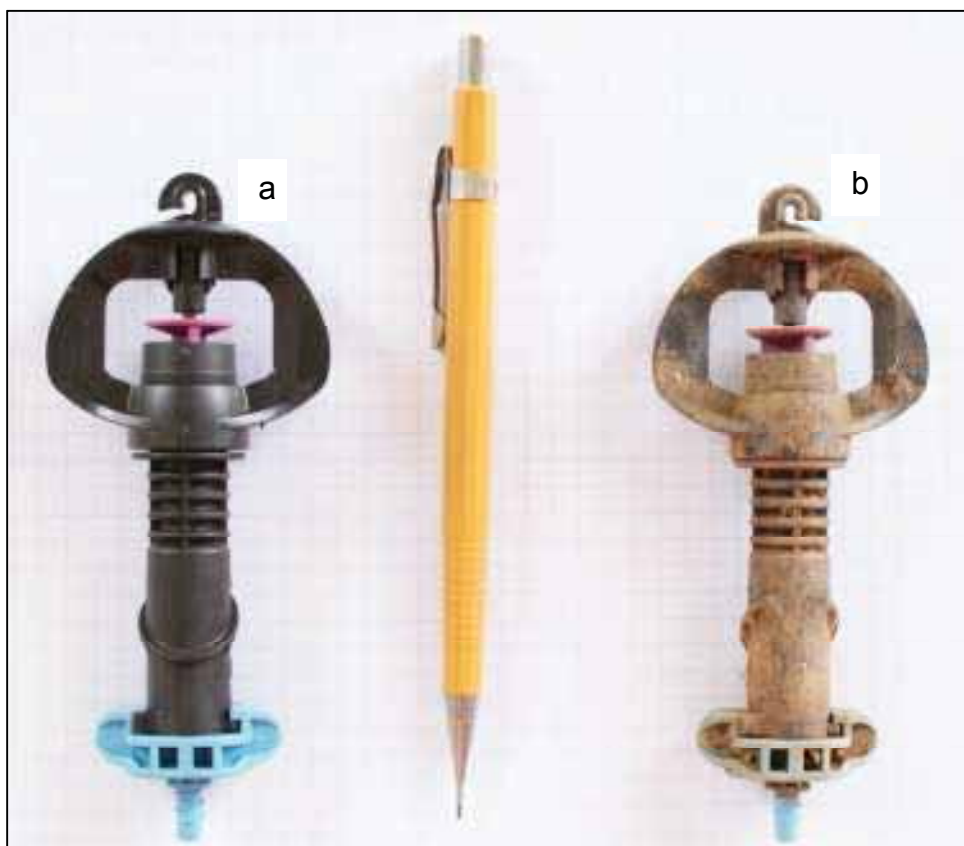


Figura 12. Microaspersores novos (a) e usados (b).

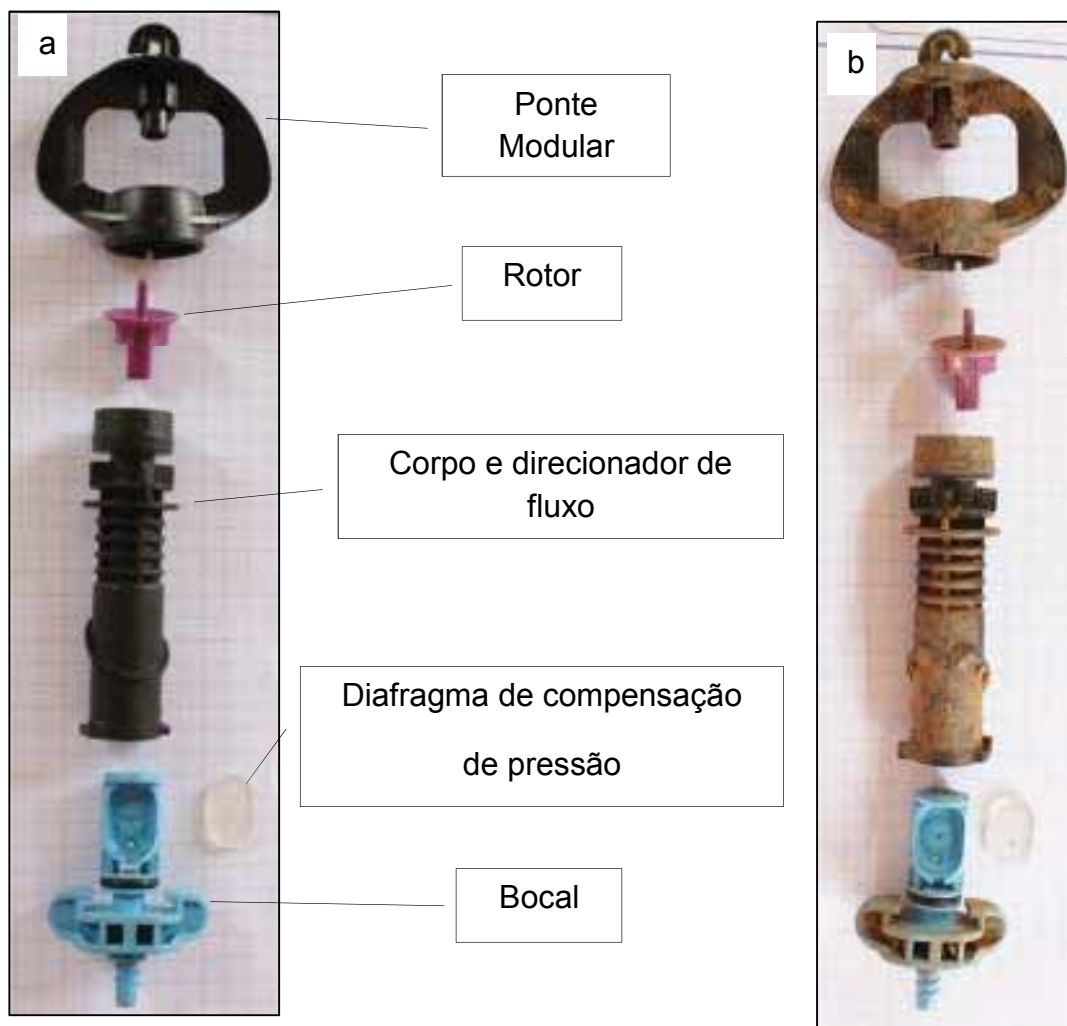


Figura 13. Componentes dos microaspersores novos (a) e usados (b).

Conforme o catálogo do fabricante, a denominação do microaspersor é SuperNet[®] - Microaspersor autoregulado para uso simples ou com sobreposição, destinado à irrigação, com uso de proteção contra geadas, resfriamento e tratamento químico e equipado com dispositivo anti-inseto. De acordo com os dados de performance do catálogo do fabricante (Tabela 7), os microaspersores ensaiados foram do Modelo 035, bocal azul claro, intervalo de compensação de pressão 1,7 - 4,5 bar, vazão nominal de 35 L h⁻¹, diâmetro do bocal de 1,20 mm, diâmetro molhado 6,0 m e bailarina ou asa giratória roxa.

Tabela 7. Dados de performance do Microaspersor SuperNet LR, conforme catálogo do fabricante.

Bailarina longo alcance LR						
Modelo	Cor do bocal	Pressão (bar)	Vazão (L h ⁻¹)	Ø bocal (mm)	Ø molhado (m)	Cor da bailarina
020	Roxo	1,7 – 4,5	20	0,89	5,0	Roxo
03	Marrom	1,7 – 4,5	30	1,14	5,0	Roxo
035	Azul claro	1,7 – 4,5	35	1,20	6,0	Roxo
040	Azul	1,7 – 4,5	40	1,28	6,0	Roxo
05	Verde	1,5 – 4,5	50	1,43	6,0	Preto
058	Cinza	1,5 – 4,5	58	1,55	7,0	Preto
070	Preto	1,5 – 4,5	70	1,73	7,0	Preto
090	Laranja	1,5 – 4,5	90	1,74	7,0	Preto
110	Vermelho	12,0 – 4,5	110	1,70	8,0	Cinza

Fonte: Catálogo de produtos Netafim

3.8.2 Ensaio de uniformidade de vazão e coeficiente de variação de fabricação e vazão (CVF e CVQ)

Para o ensaio de uniformidade de vazão, efetuou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado com disposição do tipo fatorial 2 x 4. Foram identificados dois níveis para o estado dos microaspersores, novos e usados, e quatro fatores para a pressão de ensaio (170, 250, 350 e 450 kPa), totalizando 8 tratamentos. Os 10 microaspersores novos e os 10 microaspersores usados foram considerados como repetições. Para cada tratamento efetuaram-se os testes repetidos por três vezes e tendo como resultados para posteriores análises as médias dos mesmos.

Para a interpretação dos dados, realizou-se a análise estatística utilizando-se o teste F de análise de variância e aplicou-se o teste de Tukey, a 5% de probabilidade. Também, para a avaliação dos resultados de uniformidade de vazão, aplicou-se a norma ABNT (2004).

Para a interpretação dos coeficientes de variação de fabricação, aplicaram-se as classificações conforme Solomon (1979a) descritas na Tabela 2 e norma ASAE (1999) descritas na Tabela 3. Os valores foram calculados pela Equação 3.

Utilizou-se para este ensaio a bancada de testes de vazão com funcionamento simultâneo de 5 microaspersores (Figura 4 e 5). Os emissores foram sorteados, numerados de 1 a 10 e submetidos às pressões constantes de 170, 250, 350 e 450 kPa. Durante intervalo de tempo de 5 minutos, a água de cada microaspersor foi coletada e pesada em balança eletrônica digital com 0,1 g de precisão, determinando-se o volume e convertendo-se o volume coletado em vazão ($L h^{-1}$), considerando-se a massa específica da água igual a $1 g cm^{-3}$.

3.8.3 Ensaio de coeficiente de uniformidade de distribuição de água, diâmetro de cobertura e padrão de molhamento

Os coletores foram colocados no piso do laboratório (Figura 14) e os microaspersores foram classificados em ordem crescente de vazão medida, separando-se para o ensaio os emissores numerados de 2, 4, 6 e 9 (ABNT, 2004).



Figura 14. Disposição dos coletores para ensaio de uniformidade de distribuição.

Os 4 microaspersores novos e 4 microaspersores usados, individualmente, foram submetidos a pressão constante de 300 kPa, sendo este o valor inteiro mais próximo à média do intervalo de compensação de pressão do microaspersor (170 a 450 kPa), por um intervalo de tempo de 1 hora. Posteriormente, os volumes armazenados nos coletores foram medidos com proveta de vidro graduada de 25 mL com subdivisões de 1,0 mL. Sabendo-se a seção do coletor (m^2), o volume coletado (mL) e o tempo de operação (h), calculou-se a intensidade de aplicação em $mm\ h^{-1}$.

Determinou-se o diâmetro de cobertura multiplicando-se o raio médio por 2, descartando-se os coletores com taxa de aplicação menor que $0,13\ mm\ h^{-1}$ (ABNT, 2004).

Para a determinação do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e de uniformidade de Christiansen (CUC), aplicaram-se as equações 4 e 5, respectivamente, para uma sobreposição de 100% do raio de alcance dos microaspersores (espaçamento de 3,00 m x 3,00 m entre microaspersores). Classificaram-se os emissores conforme a classificação de desempenho proposta por Mantovani (2001) (Tabela 8).

Tabela 8. Classificação dos valores do desempenho de sistemas de irrigação localizada em função do CUC e CUD (MANTOVANI, 2001).

Classificação	CUC (%)	CUD (%)
Excelente	> 90	> 84
Bom	> 80 – 90	> 68 – 84
Razoável	> 70 – 80	> 52 – 68
Ruim	60 – 70	36 – 52
Inaceitável	< 60	< 36

Fonte: Mantovani (2001)

3.8.4 Calibração da pressão

Como a vazão é uma função direta da pressão, preocupou-se na aferição contínua da pressão o mais próximo possível dos microaspersores com equipamento de maior precisão. Além dos manômetros de Bourdon calibrados e instalados na saída da bomba (Figura 3), entrada da bancada (Figura 15) e próximo ao emissor (Figura 16), instalou-se um manômetro de coluna de mercúrio do tipo tubo em “U” (deprimômetro), com 3,9 metros de altura (Figura 15), aferindo-se a

pressão exatamente na entrada dos microaspersores. Efetuou-se a regulação da pressão por meio de uma válvula de agulha de $\frac{1}{2}$ " (Figura 16).



Figura 15. Ilustração do manômetro de Bourdon (a) e de coluna de mercúrio (b).

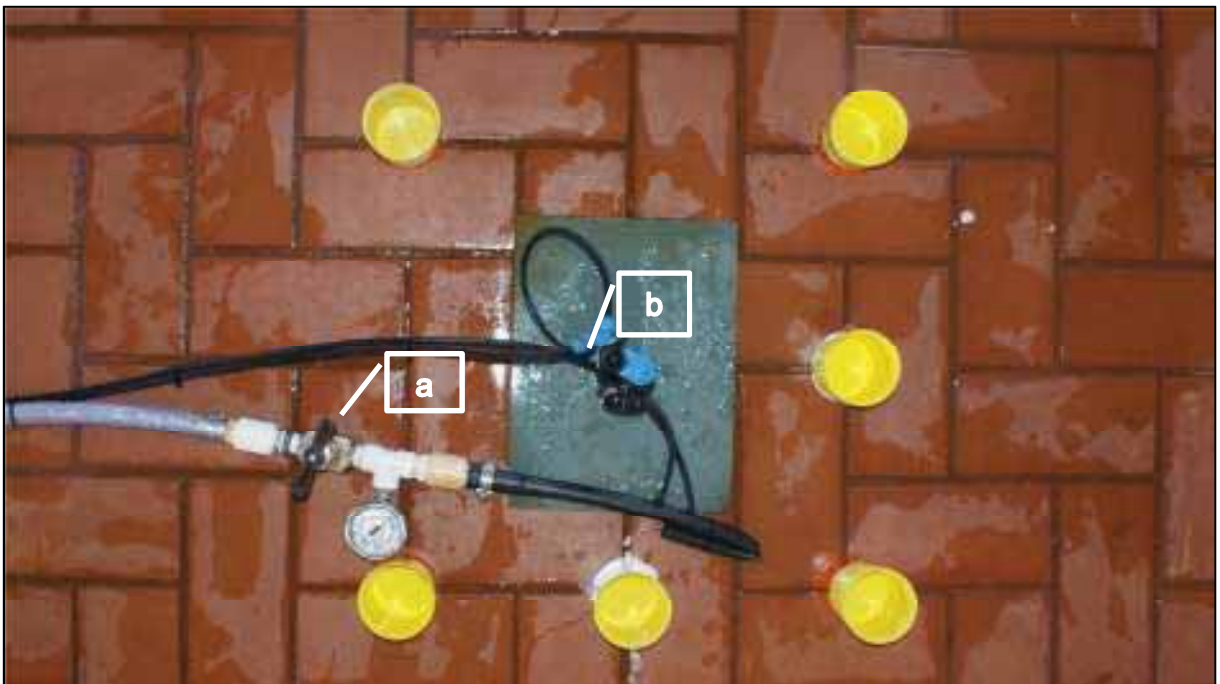


Figura 16. Ilustração da válvula de agulha de $\frac{1}{2}$ " (a) e tomada de pressão na entrada do microaspersor (b).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Uniformidade de vazão

Para a uniformidade de vazão de microaspersores autocompensantes SuperNet, houve variação superior a 10% quando submetidos à pressão de 250 kPa, nas situações de estado de uso novo e usado. Para as pressões de 170 kPa, nas duas situações, novo e usado, as vazões apresentaram variações máximas de 1,32% e 0,84%, respectivamente. As variações máximas de vazão permaneceram menores que 10% quando os emissores foram submetidos às pressões 350 e 450 kPa. A vazão média desviou em 7,30% para o emissor novo e 7,29% para o usado (Tabela 9).

Tabela 9. Variação máxima de vazão para as pressões dentro do intervalo de compensação de pressão e variação média, para os dois estados de uso dos microaspersores Supernet, com vazão nominal de 35 L h⁻¹.

Estado de Uso	Pressão (kPa)	Vazão (L h ⁻¹)	Variação Máxima (L h ⁻¹)	Variação Máxima (%)	Vazão Média (L h ⁻¹)	Variação Média (L h ⁻¹)	Variação Média (%)
Novo	170	35,46 A	0,46	1,32	37,55	2,55	7,30**
	250	39,07 B	4,07	10,42*			
	350	37,52 C	2,52	6,73			
	450	38,16 D	3,16	8,30			
Usado	170	35,29 A	0,29	0,84	37,55	2,55	7,29**
	250	38,93 B	3,93	10,10*			
	350	37,48 C	2,48	6,62			
	450	38,50 D	3,50	9,10			

*Variações das vazões máximas superiores a 10% são classificadas como inaceitáveis conforme ABNT (2004).

**Variação da vazão média superiores a 2,5% são classificadas como inaceitáveis conforme ABNT (2004).

Letras maiúsculas nas colunas comparam médias entre os dois emissores para as mesmas pressões. Médias com letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

De acordo com a norma ABNT (2004), os microaspersores regulados não podem apresentar variações máximas de vazões superiores a 10%, dentro do intervalo de compensação de pressão informado pelo fabricante, e não podem

apresentar variação da vazão média superior a 2,5%, comparando-se com a vazão nominal de catálogo. Merriam e Keller (1978) recomendaram que a variação máxima da vazão em todo o sistema de irrigação não pode variar mais que 10% para não prejudicar a uniformidade de aplicação de água em todo o sistema de irrigação. Em trabalho realizado por Siqueira e Barros Júnior (2003) com microaspersores Carborundum MS, observaram-se variações de vazão entre 8,6 a 15,0% em comparação a vazão nominal informada pelo fabricante. A variação de vazão para microaspersores autocompensantes foi evidenciada por Matos e Ragoso (1997), havendo variação inferior de 0,5% e superior de 8,6% da vazão nominal de catálogo do fabricante, quando submetidos ao intervalo de pressão de 100 a 300 kPa.

4.2 Avaliação estatística

De acordo com o parâmetro vazão, efetuou-se análise estatística do tipo fatorial 2 x 4, sendo os níveis os estados de uso, novo e usado, e os fatores as pressões de 170, 250, 350 e 450 kPa. Após a análise de variância preliminar para um experimento inteiramente casualizado com 10 repetições, constatou-se que o teste foi significativo a 1% de probabilidade. Posteriormente, efetuou-se o desdobramento da soma de quadrados e os graus de liberdade dos tratamentos, avaliando-se os efeitos principais e a interação entre os fatores. Observou-se a significância do teste a 1% de probabilidade ao efeito da pressão, indicando que este fator difere entre si à vazão do microaspersor (Tabela 10). No caso do estado de uso, novo e usado, as diferenças não foram significativas. Após avaliação da interação do efeito da pressão dentro de cada fator de estado de uso, novo e usado, os valores do fator “F” foram significativos em 16,5 e 18,5, respectivamente, a 1% de probabilidade. O coeficiente de variação do experimento foi de 3,8%.

Pelo teste de Tukey a 5%, as médias das vazões apresentaram diferenças significativas (Tabela 11).

A partir dos dados de vazão e pressão e através da análise de regressão potencial, determinou-se a equação característica de cada microaspersor, sendo: $q = 26,876H^{0,0591}$ com coeficiente de determinação R^2 de 0,3655 para o emissor novo e $q = 25,016H^{0,0717}$ com coeficiente de determinação R^2 de 0,4767 para o emissor usado. Para as duas situações, mesmo sendo baixos os coeficientes de

determinação, observa-se que o expoente de descarga “x” está próximo a zero, característica de microaspersores autocompensantes. Para Pizarro Cabello (1996), o emissor perfeito é aquele que o expoente “x” é igual a zero, indicando ser autocompensante. Para não prejudicar a uniformidade de aplicação de água recomenda-se que a variação de vazão máxima dos emissores seja de 10% em todo o sistema de irrigação (MERRIAM; KELLER, 1978).

Tabela 10. Resumo da análise de variância para parâmetro vazão.

Causas de Variação	Graus de liberdade	Soma de quadrados	Quadrado médio	Fator “F”
Efeito pressão (p)	3	148,606	49,535	34,8070**
Efeito estado (e)	1	0,001	0,001	0,0004
Interação (p; e)	3	0,822	0,274	0,1926
(Tratamentos)	7	149,428		
Resíduo	72	102,466	1,423	
Total	79	251,894		

** Significativo a 1% de probabilidade, F_(3;72) tabelado = 4,1

Tabela 11. Vazões médias dos microaspersores novos e usados dentro do intervalo de compensação de pressão.

Pressão (kPa)	Microaspersor Novo Vazão média (L h ⁻¹)	Microaspersor Usado Vazão média (L h ⁻¹)
170	35,467 c	35,295 c
250	39,073 a	38,930 a
350	37,524 b	37,482 b
450	38,167 ab	38,502 ab

Médias seguidas de letras iguais na vertical não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5%.

4.3 Coeficiente de variação de fabricação e vazão (CVF e CVQ)

Na Tabela 12 são apresentados os valores de coeficiente de variação de fabricação (CVF) para os emissores novos, os valores médios e as classificações conforme Solomon (1979a) (Tabela 2) e a norma ASAE (1999) (Tabela 3). Adotou-se, para melhor entendimento, que o coeficiente de variação, para os microaspersores usados, como sendo denominado coeficiente de variação de vazão (CVQ).

Para o microaspersor novo, conforme Solomon (1979a), o CVF para a pressão de 250 kPa foi considerado médio e para as pressões de 170, 350 e 450 kPa, foram classificados como excelentes. No caso do microaspersor usado, o

comportamento foi semelhante ao novo, porém, com aumento de 1% na média do CVQ. A classificação pelas vazões médias dos microaspersores foram excelentes nos dois casos de estado de uso, novo e usado. Em trabalho realizado por Sandri et al. (2010) foi analisado o CVF e CVQ de microaspersores novos e usados do grupo modular e encontrados, respectivamente, para os novos os valores entre 0,89% (150 kPa) e 2,36% (350 kPa), e valor médio de 1,67%. Para os emissores usados, os valores foram 1,82% (150 kPa) e 3,20% (350 kPa), e valor médio de 2,53%.

Tabela 12. Classificação dos coeficientes de variação de fabricação e de vazão para os emissores novos e usados dentro do intervalo de compensação de pressão.

Microaspersor	Pressão (kPa)	CVF e CVQ	Classificação	
			Solomon	ASAE
Novo	170	0,01	Excelente	Excelente
	250	0,04	Média	Excelente
	350	0,03	Excelente	Excelente
	450	0,03	Excelente	Excelente
	Média	0,02	Excelente	Excelente
Usado	170	0,02	Excelente	Excelente
	250	0,03	Excelente	Excelente
	350	0,04	Média	Excelente
	450	0,04	Média	Excelente
	Média	0,03	Excelente	Excelente

4.4 Uniformidade de distribuição de água

4.4.1 Raio e diâmetro de cobertura

Através do ensaio de distribuição de água, determinaram-se os valores do raio e diâmetro de cobertura dos microaspersores novos e usados. Na maioria das avaliações o raio 1 foi de 2,75 m e o raio 2 de 3,25 m, tendo-se 3,00 m como raio médio. Apenas o emissor usado 4 apresentou raios de 2,75 m. Como o diâmetro de cobertura é o valor do raio médio multiplicado por 2, determinou-se que o diâmetro efetivo foi de 6 m, sendo igual ao informado pelo fabricante (Figuras 17 a 24). Resultado diferente foi encontrado por Sandri et al. (2010) em trabalho com microaspersor modular novo e usado, em que o raio de alcance do microaspersor usado foi menor que o valor encontrado no novo.

Nas Figuras 17 a 20 são ilustradas as intensidades de aplicação radial em dois raios (eixo 0°: raio 1; e eixo 90°: raio 2) para os microaspersores novos 2, 4, 6 e 9, respectivamente. Acredita-se que a diferença de valores dos dois raios esteja relacionada com a interferência da ponte modular do emissor, restringindo a distribuição de água no eixo de 0° (raio 1).

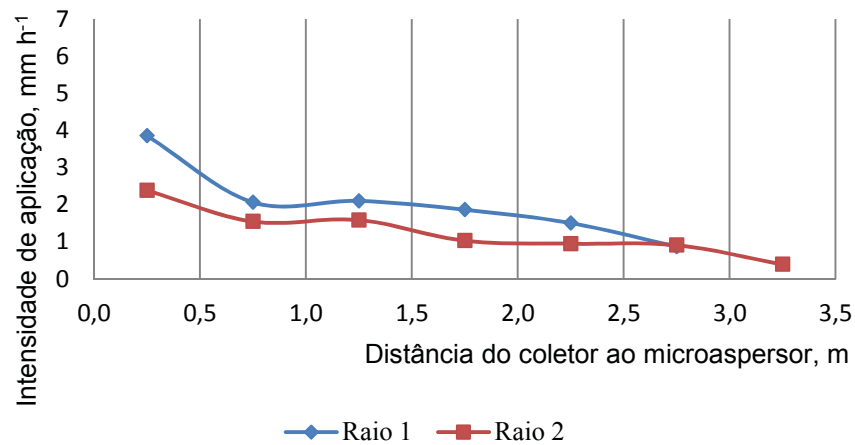


Figura 17. Perfil radial do microaspersor novo 2.

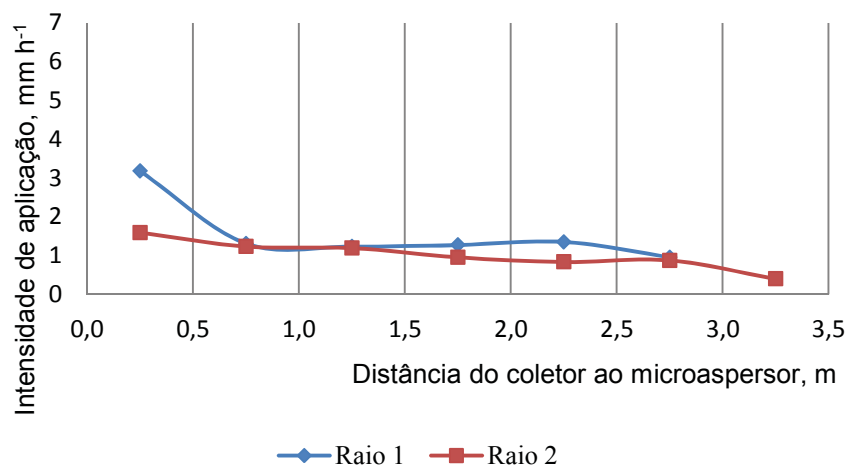


Figura 18. Perfil radial do microaspersor novo 4.

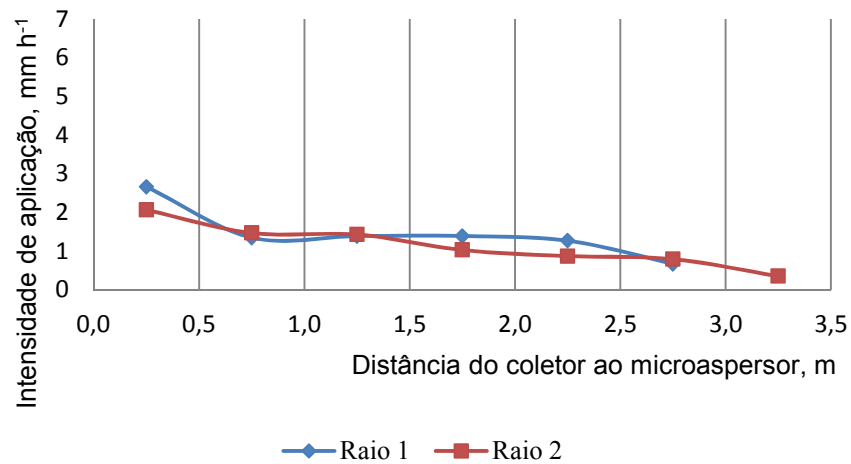


Figura 19. Perfil radial do microaspersor novo 6.

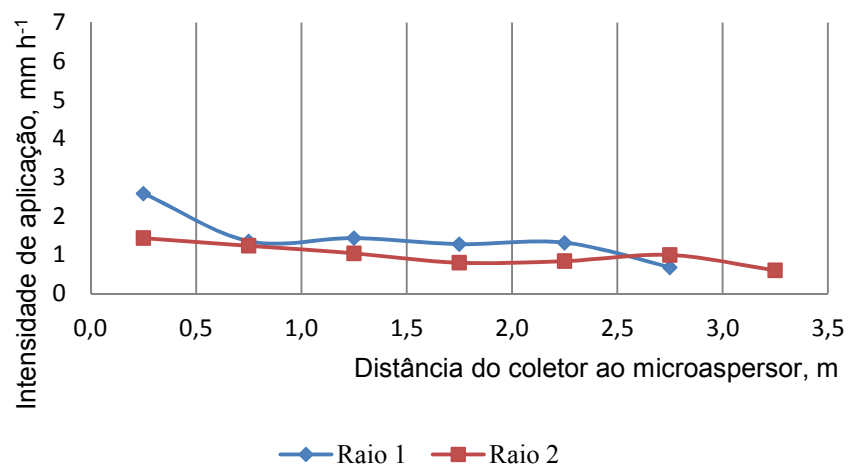


Figura 20. Perfil radial do microaspersor novo 9.

Nas Figuras 21 a 24 são ilustradas as intensidades de aplicação radial em dois raios (eixo 0°: raio 1; e eixo 90°: raio 2) para os microaspersores usados 2, 4, 6 e 9, respectivamente. Acredita-se que a diferença de valores dos dois raios seja em função da interferência da ponte modular do emissor, restringindo a distribuição de água no eixo de 0° (raio 1). Diferentemente dos emissores usados 4, 6 e 9, observa-

se no emissor usado 2 acentuado aumento da intensidade de aplicação no raio 2 a 2,75 m do microaspersor. Acredita-se que esta diferença esteja relacionada ao rotor/asa giratória.

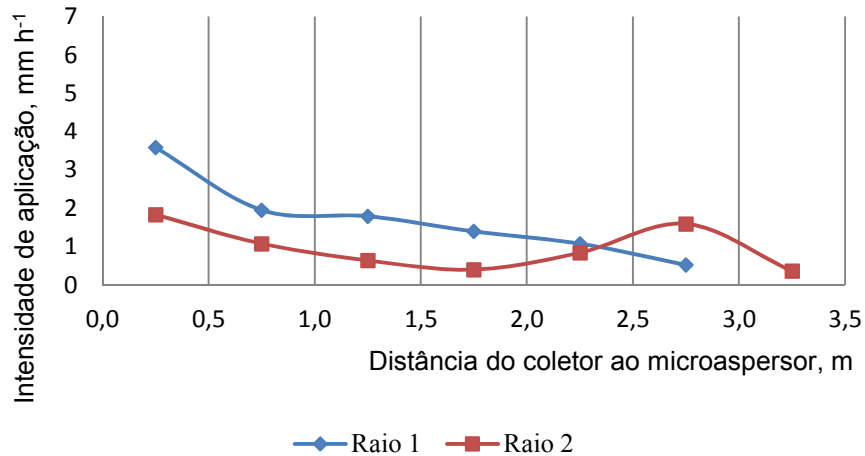


Figura 21. Perfil radial do microaspersor usado 2.

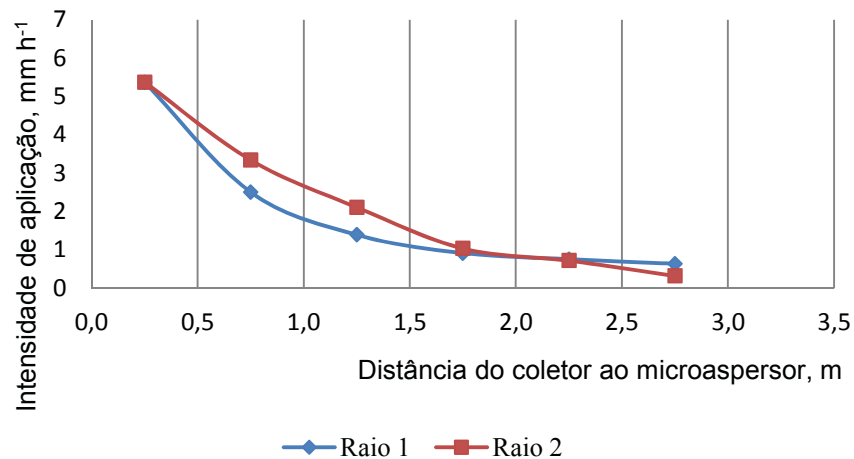


Figura 22. Perfil radial do microaspersor usado 4.

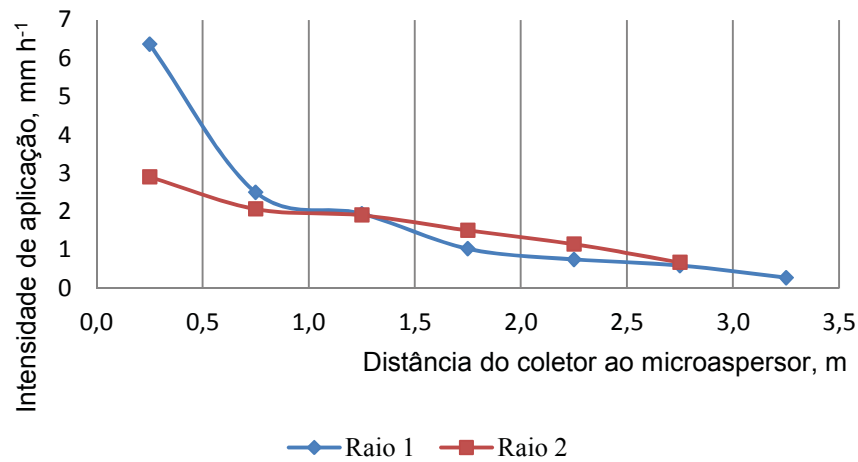


Figura 23. Perfil radial do microaspersor usado 6.

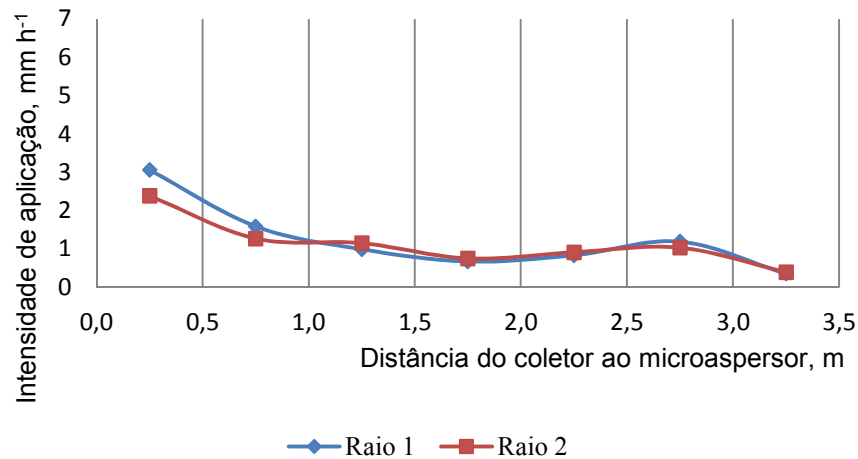


Figura 24. Perfil radial do microaspersor usado 9.

4.4.2 Padrão de molhamento

Os isogramas do padrão de molhamento para os microaspersores novos estão apresentados nas Figuras 27 a 30 e para os microaspersores usados nas Figuras 31 a 34. Segundo a norma ABNT (2004), o padrão de molhamento estudado deve ser comparado e encontrar-se em conformidade com o padrão de molhamento informado pelo fabricante. Porém, não foram obtidas as informações do fabricante.

Nota-se nas Figuras 27 a 34 que as maiores intensidades de aplicação foram encontradas a 0,25 m de distância do microaspersor, nos novos e usados, com valores máximos entre 4 a 5 mm h⁻¹, decrescendo com o aumento da distância. Para os microaspersores novos e usados ocorrem maiores intensidades de aplicação próximas aos emissores, evidenciando que as intensidades de aplicação de 2 a 3 mm h⁻¹ ocorrem até 1,25 m de distância do microaspersor. Após essa distância, verifica-se que os valores são inferiores a 2 mm h⁻¹. Sendo o microaspersor com raio de alcance de 3 metros, a distribuição de água em área circular é de 28,27 m², onde 82,6% da área possui intensidade de aplicação de água menor que 2 mm h⁻¹ e os 17,4% restantes possuem intensidade de aplicação de 2 a 5 mm h⁻¹.

Em trabalho realizado por Conceição e Coelho (2002), utilizando microaspersor Dan 2001, bocal marrom com vazão de 35 L h⁻¹ e rotor preto, verificaram que o raio de alcance foi de 2,4 metros e a maior taxa de aplicação foi de 2,9 mm h⁻¹, distante a 1,2 metro do microaspersor. Quando utilizaram bocais de maiores vazões e rotor de cor azul, houve aumento do raio de alcance para valores de 3,0 a 3,6 m e maiores intensidades de aplicação nos coletores a 0,5 m do emissor, sendo os valores de 4,3 a 5,9 mm h⁻¹. Resultados semelhantes foram observados por Sandri et al. (2010), com microaspersor modular novo para o qual houve precipitação maior à distância de 1,0 m, enquanto o modelo usado apresentou redução no valor da precipitação à distância de 0,5 m e logo após uma elevação, reduzindo seu valor posteriormente. Foi evidenciado em experimento executado por Tagliaferri et al. (2003) maior intensidade de aplicação próximo ao microaspersores MF Carborundum.

Observa-se ainda nas Figuras 27 a 34 a interferência no alcance e redução na qualidade do padrão de molhamento em função da ponte modular de sustentação do rotor/asa giratória. No centro das figuras a imagem de uma estrela branca indica a posição do microaspersor e a seta dupla é a direção de instalação da ponte modular, interferindo no raio de alcance.

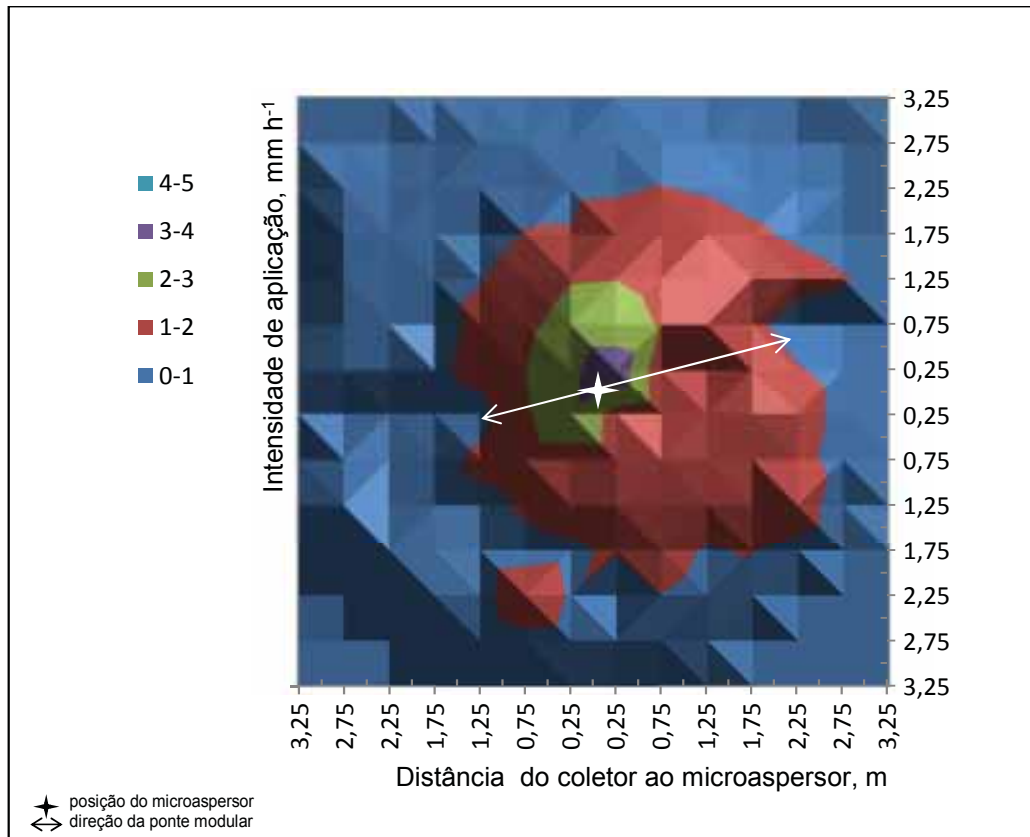


Figura 27. Isograma do padrão de molhamento do microaspersor novo 2.

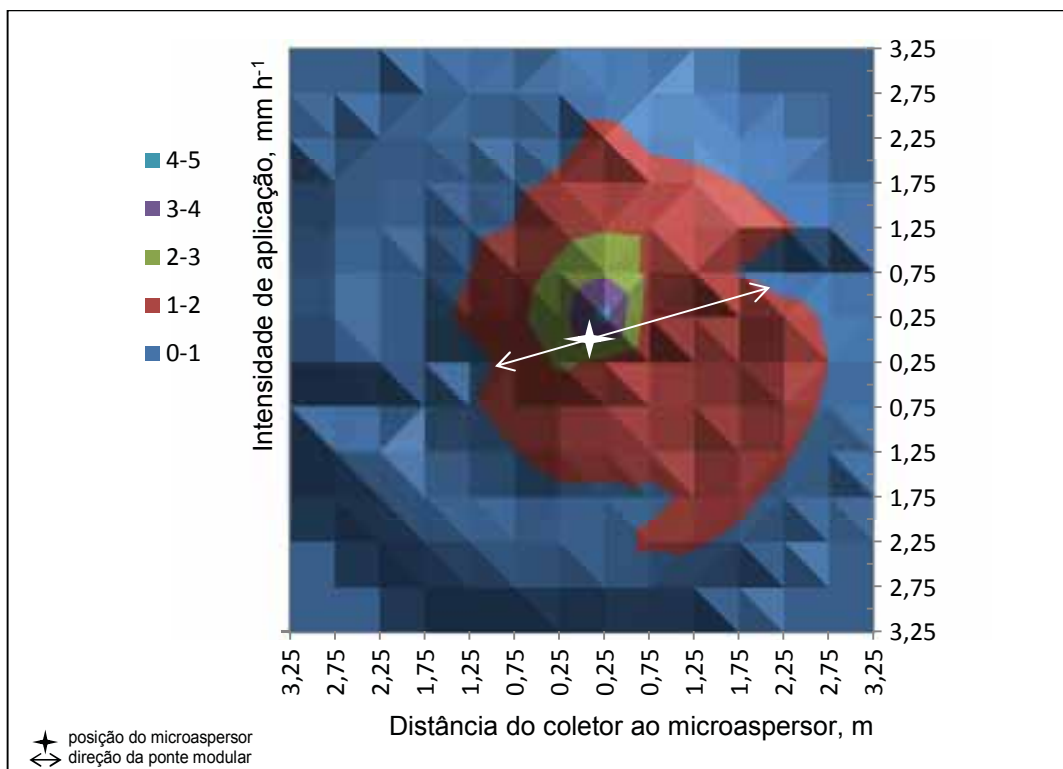


Figura 28. Isograma do padrão de molhamento do microaspersor novo 4.

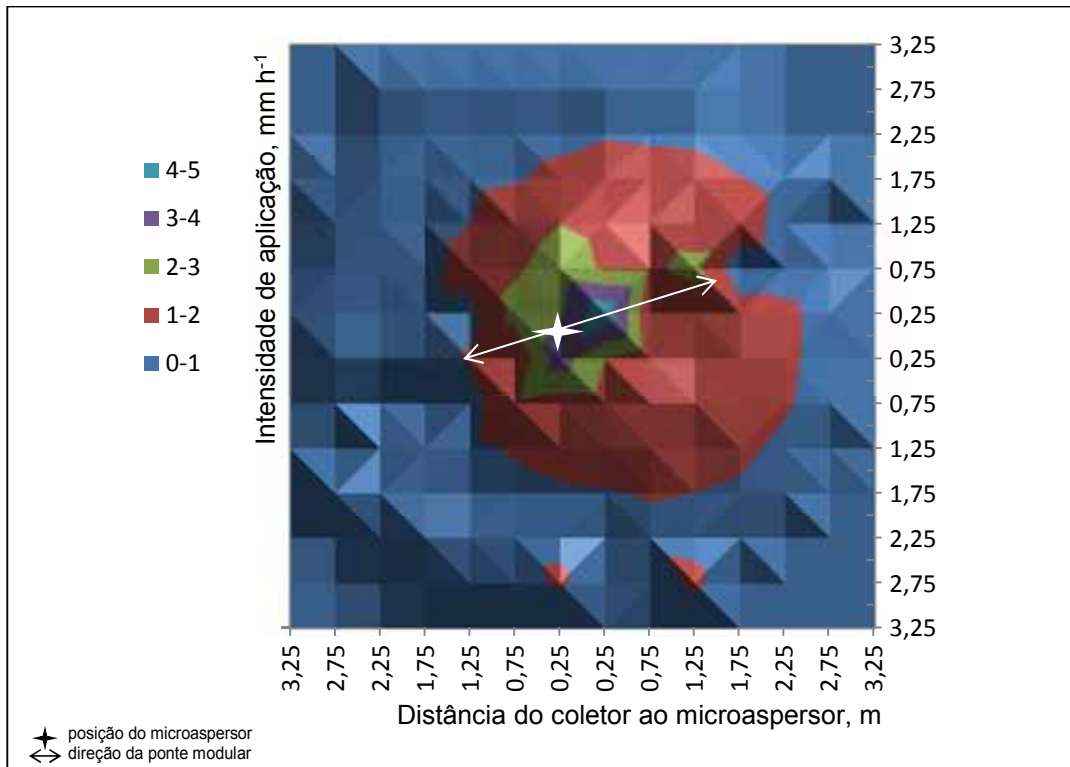


Figura 29. Isograma do padrão de molhamento do microaspersor novo 6.

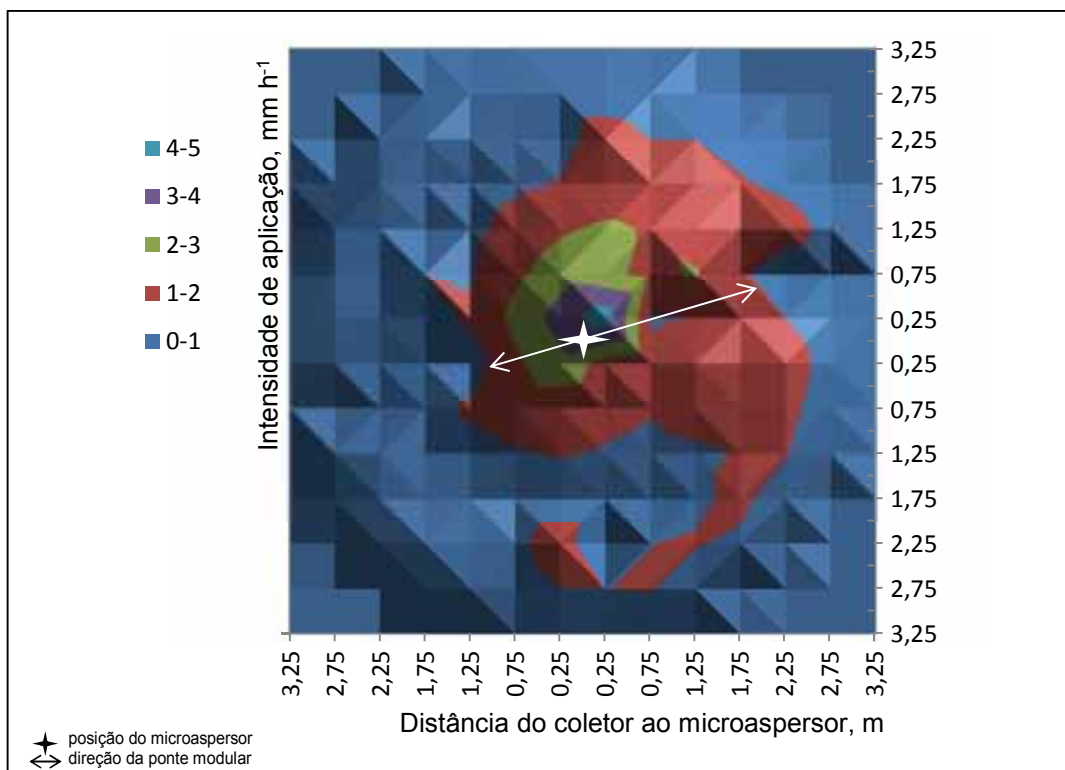


Figura 30. Isograma do padrão de molhamento do microaspersor novo 9.

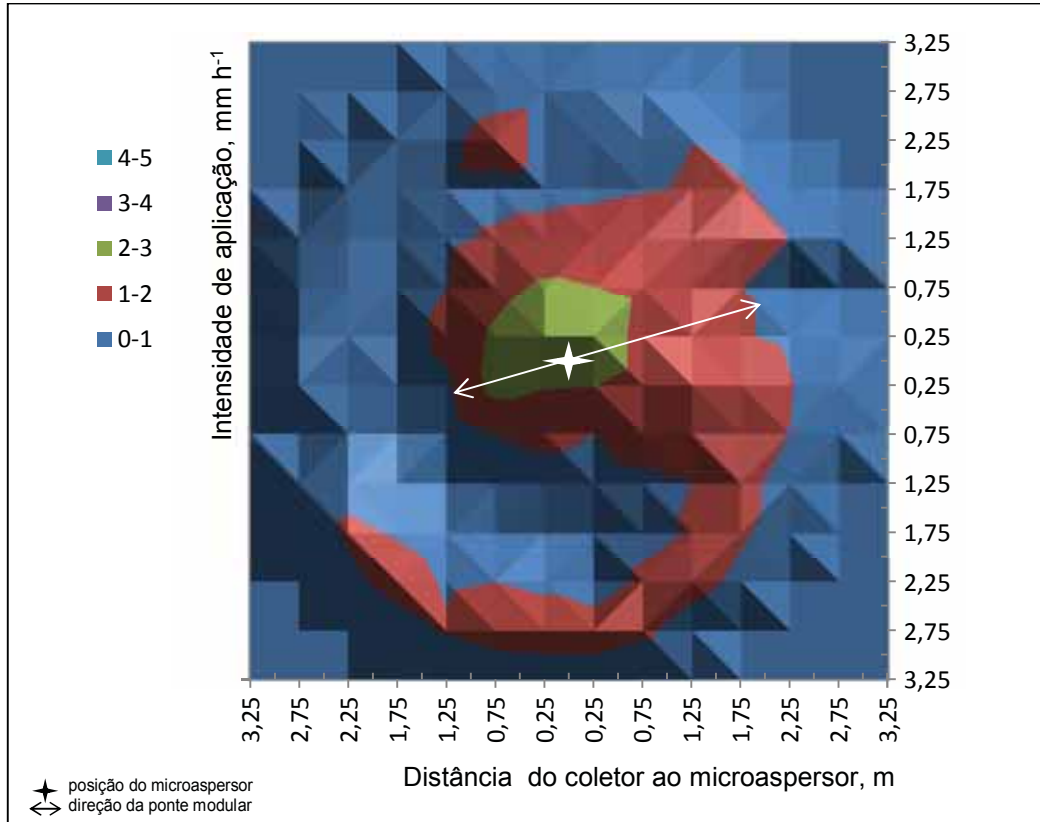


Figura 31. Isograma do padrão de molhamento do microaspirador usado 2.

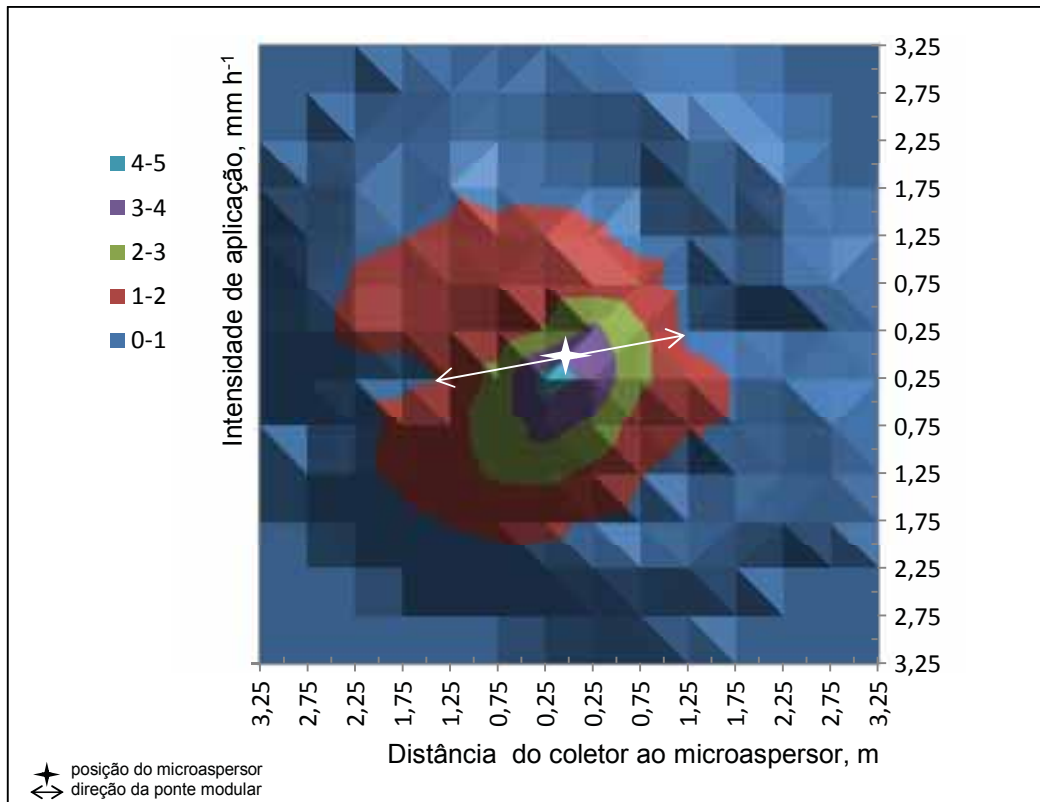


Figura 32. Isograma do padrão de molhamento do microaspirador usado 4.

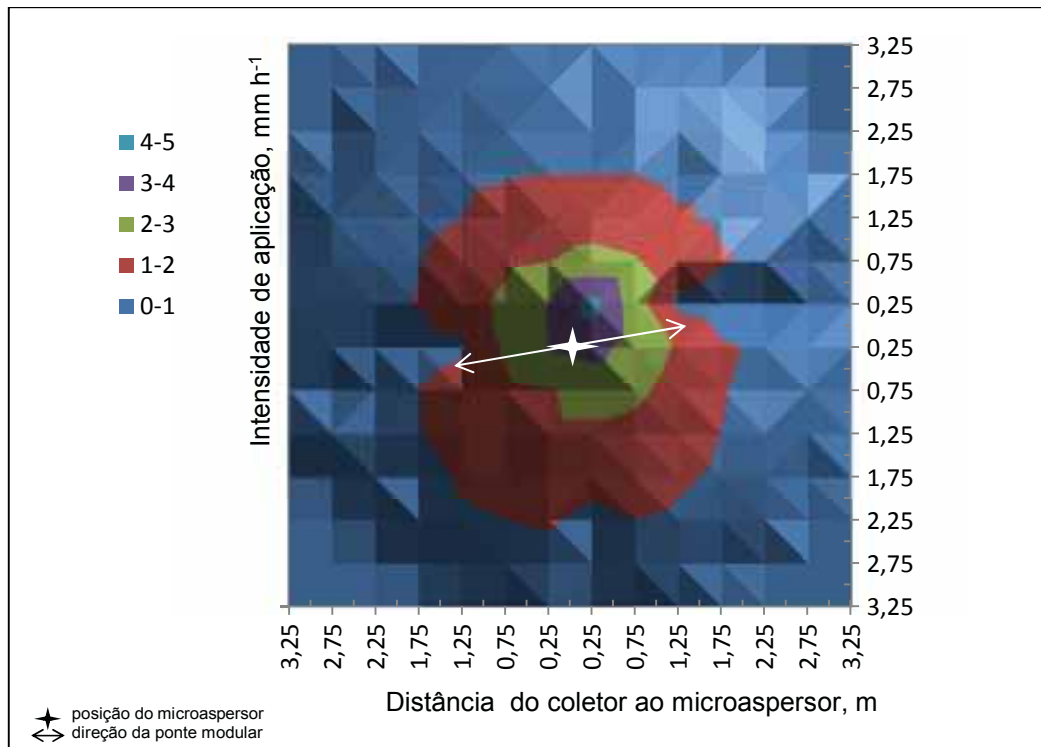


Figura 33. Isograma do padrão de molhamento do microaspersor usado 6.

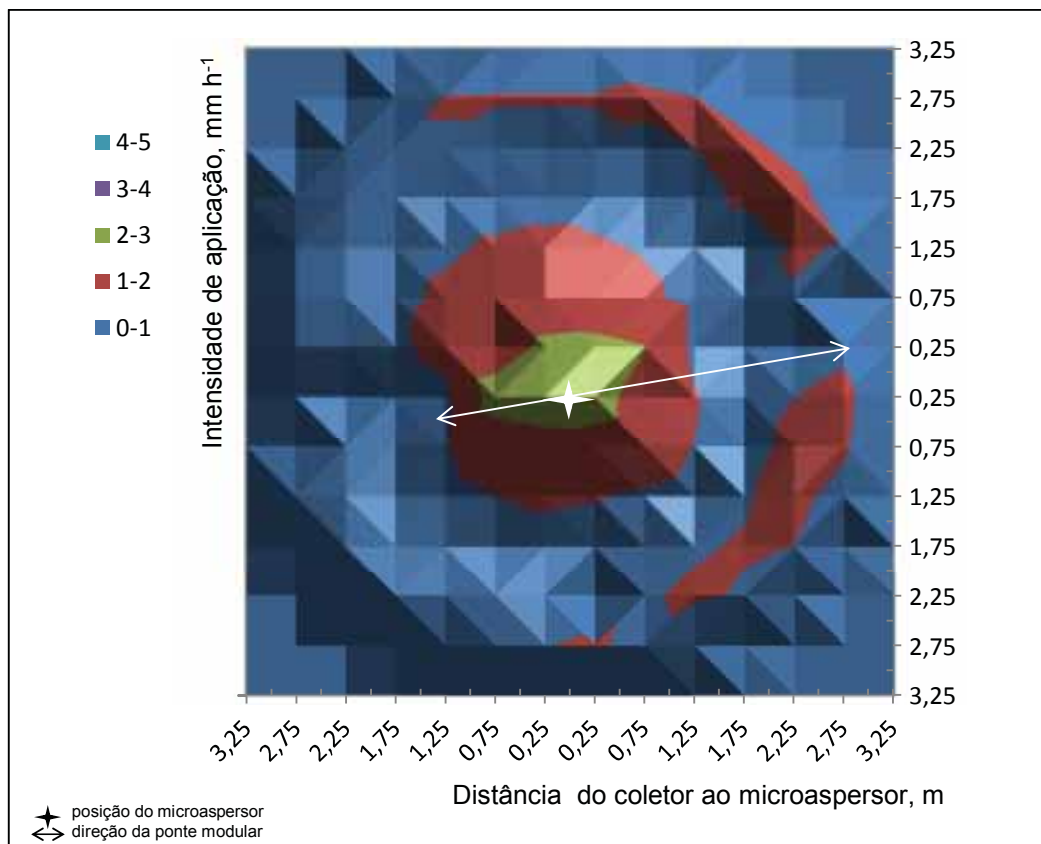


Figura 34. Isograma do padrão de molhamento do microaspersor usado 9.

4.4.3 Coeficientes de uniformidade - CUC e CUD

Para calcular o CUC e CUD foi utilizado o aplicativo computacional CATCH 3D, versão 4.45 (ALLEN, 1992). Quando aplicada sobreposição de 100% do raio de alcance (3 x 3 m) para os microaspersores novos, a média do coeficiente de uniformidade de Christiansen foi de 83,6% e a média do coeficiente de uniformidade de distribuição foi de 75,2% (Tabela 13). Para os emissores usados os valores de CUC e CUD foram de 84,1% e 75,9%, respectivamente. Estatisticamente, o teste “F” foi não significativo a 5% de probabilidade e, portanto, os valores de CUC e CUD não diferem entre si para os emissores novos e usados. Os coeficientes de variação foram de 4,13 e 6,52% para os valores de CUC e CUD, respectivamente.

Tabela 13. Valores individuais e médios de CUC e CUD para os microaspersores novos e usados com sobreposição de 100% (3 x 3 m).

Estado de Uso	C.U. (%)	Repetição				Média
		1 (2)	2 (4)	3 (6)	4 (9)	
Novo	CUC	84,2	84,8	83,2	82,3	83,6
	CUD	73,1	76,7	77,6	73,3	75,2
Usado	CUC	79,9	80,6	90	86	84,1
	CUD	69,4	71	82,3	80,8	75,9

Valores entre parênteses são os números de identificação dos microaspersores.

Para sistemas de irrigação localizada, segundo Zocoler (2009), são exigidos CUC superior a 90% e CUD acima de 80% para serem considerados com ótima eficiência. Bernardo, Soares e Mantovani (2006) classificam os valores de CUC conforme a Tabela 14. Para a classificação de CUD, Bralts (1986) usa valores conforme a Tabela 15. Seguindo essas classificações, os microaspersores analisados, novos e usados, quando submetidos à sobreposição de 100% são considerados bons com relação ao coeficiente de uniformidade de Christiansen. Para a uniformidade de distribuição, são classificados como regulares.

Tabela 14. Classificação do CUC de acordo com Bernardo et al. (2006).

CUC	Classificação
≥ 90	excelente
$> 80 - 90$	bom
$> 70 - 80$	regular
$60 - 70$	ruim
< 60	inaceitável

Fonte: Bernardo et al. (2006)

Tabela 15. Classificação de CUD de acordo com Bralts (1986).

CUD	Classificação
> 90	excelente
$> 80 - 90$	bom
$70 - 80$	regular
< 70	ruim

Fonte: Bralts (1986)

O CUC do emissor novo e do usado, mesmo sendo classificados como bons, poderiam ser melhores caso a intensidade de aplicação de água fosse mais uniforme em toda a área abrangida pelo emissor e não grande concentração de precipitação próxima ao emissor. Outra forma de melhorar os valores dos coeficientes de CUC e CUD é efetuar maior sobreposição entre as áreas irrigadas pelos microaspersores. Assim, foi efetuada uma simulação utilizando o programa CATCH 3D com o microaspersor usado 6 com sobreposição quadricular a cada 2 metros e o valor de CUC e CUD foram de 94% e 91%, respectivamente, sendo superiores aos valores encontrados de 90% para CUC e 82,3% para CUD em sobreposição quadricular de 3 metros.

5. CONCLUSÃO

Os microaspersores novos e usados não diferiram em relação ao coeficiente de variação de fabricação e de vazão, sendo classificados como excelentes.

Os diâmetros de cobertura dos microaspersores novos e usados foram de 6 m, sendo igual ao apresentado no catálogo do fabricante.

Nos microaspersores novos e usados as maiores intensidades de aplicação foram encontradas a 0,25 m de distância do emissor, decrescendo ao distanciar-se do microaspersor.

Houve diferenças significativas nas vazões dos microaspersores dentro do intervalo de compensação de pressão.

Os microaspersores, novos e usados, não diferiram em relação às variações de vazão apresentando variações máximas superiores a 10% (inaceitável segundo ABNT, 2004), apenas para 250 kPa. As variações médias de vazão desviaram-se mais que 2,5% em relação a vazão nominal de catálogo (inaceitável segundo ABNT, 2004).

Com sobreposição de 100% do raio de molhamento, os valores médios de CUC foram de 83,6% para os microaspersores novos e 84,1% para os microaspersores usados e os valores de CUD foram de 75,2% para os novos e 75,9% para os usados, não diferindo estatisticamente.

Para as condições onde está instalado o sistema de irrigação, incluindo o manejo da cultura e do sistema, a vida útil dos emissores autocompensantes pode ser considerada maior que 9 anos ou 4.265 h de funcionamento.

6. REFERÊNCIAS

- ALLEN, R. G. **Cath-3D sprinkler pattern analysis software**: user's manual. Logan: Utah State University, Department of Biological and Irrigation Engineering, 1992. 14 p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Equipamentos de irrigação agrícola – emissores e tubos emissores – especificação e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, ABNT NBR ISO 9261:2006, 17 p. 2006.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Irrigação localizada** - microaspersores - requisitos gerais e métodos de ensaio. São Paulo, ABNT, 2004, 11 p. PNBR 04:015.08 – 015.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Requisitos mínimos para elaboração de projeto de sistema de irrigação localizada**. São Paulo, ABNT, 1986, 8 p. PNBR 12:02.08 - 022.
- ABREU, J. M. H.; LOPEZ, J. R.; REGALADO, A. P.; HERNANDEZ, J. F. G. **El riego localizado**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987. 317 p.
- ANDRADE, L. A. de. **Avaliação hidráulica e de resistência a tração de dois modelos de mangueiras gotejadoras**. 2005. 76 f. Dissertação (Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.
- ANDRADE, L. A. de. **Estudo de dois espaçamentos entre gotejadores na mesma lateral e sua influência na uniformidade de aplicação de água**. 2009. 87 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2009. Disponível em: < <http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0385.pdf> > Acessado em: 28.12.2012.
- ASAE Standards 1999 Standards engineering practices data: EP405.1. **Design and installation of microirrigation systems**. St. Joseph. Mich: American Society of Agricultural Engineers. Dec., p. 879-883, 1999.
- AZEVEDO, H. M. Irrigação localizada. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, n. 139, p. 40-53, 1986.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de Irrigação**. 8. ed. Viçosa: Editora UFV, 2006. 625 p.
- BOMAN, B. J.; PARSONS, M. L. Changes in microsprinkler discharges resulting from long - turn use. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v. 9, n. 3, p. 281-284, 1993.

BONOMO, R. **Análise da irrigação na cafeicultura em áreas de cerrado de Minas Gerais**. 1999. 224 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1999.

BOTREL, T. A. **Hidráulica de microaspersores e linhas laterais para irrigação localizada**. 1984. 78 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1984.

BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. (Ed.) **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 216-240. (Development in Agricultural Engineering, 9).

BRALTS, V. F.; WU, I. P.; GITLIN, H. M. Manufacturing variation and drip irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 24, n. 1, p. 113-119, 1981.

CARARO, D. C.; BOTREL, T. A.; HILLS, D. J.; LEVERENZ, H. L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 22, p. 251-257, 2006.

CHAMON, O. **Estudo comparativo da demanda de água e do manejo em sistemas de irrigação em lavouras de café**. 2002. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória-ES, 2002.

CHRISTOFIDIS, D. Recursos hídricos dos cerrados e seu potencial de utilização na irrigação. **Revista ITEM**, Brasília, n. 69/70, p. 87-97, 2006.

CLEMMENS, A. J. A statical analysis of trickle irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 30, n. 1, p. 169-175, 1987.

CONCEIÇÃO, M. A. F., COELHO, R. D. **Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condição de vento**. Piracicaba, 2002, 110 f. Tese de Doutorado – ESALQ – Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11143/tde.../marco.pdf>> Acesso em: 21 de outubro de 2012.

CORDEIRO, E. de A. **Influência do tratamento de água ferruginosa no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento**. 2002. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2002.

COSTA, M. da C. **Caracterização hidráulica de dois modelos de microaspersores associados a três reguladores de fluxo e um mecanismo de pulso**. 1994. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1994.

CUNHA, M. D. da; CUNHA, M. L. da; FREIRE, O. J. de. **Avaliação de desempenho do microaspersor amanco 63 L h⁻¹ em condições de campo**. Holos, Ano 26, v. 5, 2010 - Disponível em: <www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/551/408> Acesso em: 21 de outubro de 2012.

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 NAAN 7110, sob diferentes condições de vento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, 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**, v. 27, n. 50, p.155-162, 1980.

FRIZZONE, J. A.; DOURADO NETO, D. Avaliação de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H. de; PIRES, R. C. de M. (eds.). **Irrigação** (Série Engenharia Agrícola). Piracicaba: FUNEP, 2003. v. 2. p. 573-651.

FRIZZONE, J. A.; VIEIRA, A. T.; PAZ, V. P. S.; BOTREL, T. A. Caracterização hidráulica de um tubo gotejador. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 278-283, 1998.

GOMES, H. P., **Engenharia de Irrigação: Hidráulica dos Sistemas Pressurizados, Aspersão e Gotejamento**. 2 ed. Campina Grande: UFPB, 1997. 390 p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v.17, n. 2, p. 678-684, 1974.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada**. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Atual., Viçosa-MG, Ed. UFV, 355 p., 2009.

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

MATOS, J. A. de; RAGOSO, J. R. A. Caracterização da performance hidráulica de dois emissores tipo microaspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 1, p. 17-20, 1997.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation for crop production**. St. Joseph: ASAE, 1986. 383 p.

OLITTA, A. F. L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Nobel, 1984. 267 p.

PEREIRA, L. S.; OWEIS, T.; ZAIRI, A. Irrigation management under water scarcity. **Agricultural Water Management**, n. 57, p. 175-206, 2002.

PINAZZA, L. A.; ALIMANDRO, R. **Reestruturação do agribusiness brasileiro: agronegócios no terceiro milênio**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Agribusiness, 1999. 280 p.

PINTO, J. M.; SOARES, J. M.; NASCIMENTO, T. **Análise de coeficiente de uniformidade de distribuição de água em sistema de irrigação localizada**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8, **Anais**. Florianópolis: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1988, v. 1. p. 309-326.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia - goteo - microaspersión - exudación**. 3. ed. Madrid: Ed. Mundi 1996. 513 p.

RESENDE, R. S.; COELHO, R. D.; PIEDADE, S. M. S. Eficiência da cloração da água de irrigação no tratamento de gotejadores com entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, p. 382-389, 2000.

RODRIGO LÓPEZ, J.; HERNÁNDEZ ABREU, J. M.; PÉREZ REGALADO, A.; GONZÁLEZ HERNÁNDEZ, J. F. **Riego localizado**. Madrid: Mundi-Prensa, 1992. 405 p.

SANDRI, D.; MESQUITA, M.; BESSA, S.E.; PRADO, C.R.A. Influência do tempo de uso sobre as características hidráulicas do microaspersor do grupo modular. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1089-1100, nov./dez. 2010.

SIQUEIRA, E. C.; BARROS JÚNIOR, G. Determinação do coeficiente de variação e vazão do microaspersor Carburundum MS V versus pressão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32, 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. 1 CD-ROM.

SOLOMON, K. Manufacturing variation of trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 5. p. 1034-1038, 1979a.

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

SOUZA, L. O. C. de. **Análise técnica de sistemas de irrigação por gotejamento utilizados na cafeicultura irrigada**. 2000. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2000.

SOUZA, L. O. C. de; MANTOVANI, E. C.; CORDEIRO, E. de A.; MUDRIK, A. S.; SIMÃO, F. R. Uniformidade de distribuição de água em um sistema de irrigação por gotejamento utilizado em cafeicultura irrigada. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA DOS CAFÉS DO BRASIL, 2., 2001, Vitória. **Anais...** Brasília: Embrapa Café, 2001. p. 679-685.

SOUZA, J. A. R.; DENICULI, W.; BATISTA, R. O.; VAL, J.C.C.; MATOS, A.T. Caracterização hidráulica de microaspersor aplicando água limpa, água residuária de avicultura e de bovinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 3, 161-172, Jul./Set., 2005.

TAGLIAFERRE, C.; OLIVEIRA, R. A.; DENÍCULLI, W.; ROBERTO CECON, P.; MARTINEZ, M. A. Características hidráulicas do microaspersor MF. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2003. 1 CD-ROM.

ZOCOLER, J. L. **AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO**. 2009; Disponível em: < <http://www.agr.feis.unesp.br/curso5.htm> > Acessado em: 20.10.2012.

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.