

IMPORTÂNCIA DO PERFIL RADIAL DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA EM MICROASPERSORES

Daniela D'Orazio Bortoluzzi¹; Ana Claudia Sossai Souza¹; Gessyka Roberti Volpato² e Rafael Zucca³

¹Universidade Estadual de Maringá – UEM, Programa de Pós Graduação em Agronomia, Av. Colombo, 5790, CEP: 87020-900, Zona 7, Maringá, PR. E-mail: dani_dorazio@hotmail.com, ana_sossai87@hotmail.com

²Universidade Estadual de Maringá – UEM, Programa de Pós Graduação em Ciências Agrárias, Estrada da Paca s/n, CEP: 87500-000, Bairro São Cristóvão, Umuarama, PR. E-mail: gessyka_volpato@hotmail.com

³Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, Faculdade de Ciências Agrárias, Rodovia Dourados – Itahum, km 12, CEP: 79804-970, Dourados, MS. E-mail: rafael-zucca@hotmail.com

RESUMO: *Posto que a irrigação é a maior usuária de recursos hídricos, ela é fundamental para o aumento da produção e qualidade do produto final, dessa forma, torna-se relevante a utilização de sistemas de irrigação mais eficientes, reduzindo o consumo de recursos naturais e energia elétrica, tornando viável economicamente o processo de produção vegetal. Nesse sentido, os métodos de irrigação devem proporcionar uma distribuição de água que seja uniforme e eficiente. Para tanto, é necessário que os sistemas de irrigação sejam avaliados, buscando-se verificar se as condições iniciais de projeto se confirmam com as condições de campo. Devido ao fato das inúmeras combinações de diâmetros de bocais, pressão de serviço e tipos de insertos, os fabricantes de microaspersores normalmente não disponibilizam de forma adequada as características técnicas de distribuição de água em seus catálogos. A inexistência dessa informação pode acarretar em equívoco na escolha do microaspersor, limitando a seleção do mesmo pelos valores de vazão e raio de alcance, superestimando ou subestimando a operação desses sistemas.*

PALAVRAS-CHAVE: *Características técnicas, intensidade de aplicação, microirrigação.*

IMPORTANCE OF THE RADIAL WATER DISTRIBUTION PROFILE IN MICRO-SPRINKLER

ABSTRACT: *Since irrigation is the largest user of water resources, it is fundamental to increase the production and quality of the final product, thus, it becomes relevant to use more efficient irrigation systems, reducing the consumption of natural resources and energy and economically feasible the process of plant production. In this sense, irrigation methods should provide a uniform and efficient distribution of water. To do so, it is necessary that the irrigation systems be evaluated, in order to verify if the initial design conditions are confirmed with the field conditions. Because of the numerous combinations of nozzle diameters, service pressure and types of inserts, sprinkler manufacturers typically do not adequately provide the technical characteristics of water distribution in their catalogs. The lack of this information can lead to a mistake in the selection of the micro-sprinkler, limiting the selection of the same by the values of flow and radius of reach, overestimating or underestimating the operation of these systems.*

KEY WORDS: *Technical specifications, application rate, micro irrigation.*

A escassez dos recursos naturais simultaneamente ao rápido crescimento da população mundial, têm atribuído grande importância as questões ambientais e econômicas de modo a estimular o desenvolvimento de tecnologias que proporcionem o uso racional desses recursos, minimizando as perdas e maximizando o retorno econômico (Oliveira, 2008; Gonçalves et al., 2010).

Para produzir economicamente, é preciso fornecer à planta no período adequado a quantidade de água necessária para que ela possa atingir produção máxima (Daker, 1988). O custo de irrigação pode ser reduzido quando o sistema apresentar índices de uniformidade adequadas e distribuição de água satisfatórios, visando evitar o desperdício hídrico.

Como a microirrigação, que engloba a microaspersão e o gotejamento, apresenta perdas de água na aplicação relativamente baixas quando comparada com outros sistemas de irrigação, esse método é o que apresenta maior eficiência no mercado (Macedo et al., 2010). O microaspersor caracteriza-se por aplicar água com jatos pulverizados e operar com pressões que variam de 5 a 25 m.c.a. e vazões de 20 a 160 L h⁻¹ (Bernardo et al., 2011)

A inclinação do jato, o diâmetro dos bocais, a pressão de serviço, a altura de instalação e a estabilidade da haste de sustentação do emissor, que são consideradas condições operacionais do microaspersor, bem como o modelo do microaspersor e as considerações climáticas durante a operação, influenciam significativamente nas características de distribuição de água desse equipamento (Andrade, 2013), tornando os ensaios a campo muito mais trabalhoso e demorado.

Os ensaios de microaspersor operando isoladamente são feitos através do método da malha, conforme a norma ISO 8026 (ISO, 1995), onde os coletores, com espaçamento estabelecido, são alocados ao redor do microaspersor, o sistema opera no mínimo por uma hora e deve ser realizado na ausência de vento. O método gera resultados aceitáveis na obtenção do perfil radial de distribuição de água, com o inconveniente apenas de se utilizar um número elevado de coletores.

Porém, tem-se o impasse de que os catálogos técnicos fornecidos pela maioria dos fabricantes não disponibilizam a informação do perfil radial para as diferentes combinações de bocais, pressão de serviço e tipos de insertos (Prado; Colombo, 2005).

Dessa forma, o trabalho tem como objetivo caracterizar a importância de se conhecer o perfil radial de distribuição de água de microaspersores afim de obter o melhor desempenho do emissor.

Aspectos gerais sobre irrigação

A irrigação tem origem desde os tempos mais remotos, em que as antigas civilizações eram de regiões áridas, como China, Egito, Mesopotâmia e Índia. A utilização da irrigação no passado era uma opção que visava principalmente combater a seca, demonstrando que essa prática sempre foi um fator de riqueza, prosperidade e, conseqüentemente, de segurança (Mantovani et al., 2009).

A área irrigada no mundo passou de 8 milhões de hectares em 1800 para 40 milhões em 1900, posteriormente em 1950 aumentou para 100 milhões e na década de 70 chegou a 200 milhões de hectares (Daker, 1988). Atualmente, mais da metade da população mundial depende de alimentos oriundos da prática de irrigação e seu crescimento contínuo vem exigindo uma agricultura competitiva e tecnificada (Bernardo et al., 2011).

No Brasil, a área irrigada apresentou um aumento de 1,3 milhões de hectares, apresentando 3.121.664 ha no censo agropecuário de 1995-1996 e 4.453.925 ha no censo de 2006, obtendo um ritmo médio de 150 mil hectares por ano. Observa-se ainda que a irrigação por aspersão tem sido empregada na maior parte das áreas irrigadas brasileiras, com 35%, seguido pela inundação (24%), pivô-central (19%), microirrigação (8%), outros – consiste em irrigações manuais – (8%) e por último, irrigação por sulcos (6%). A microirrigação é mais utilizada na região sudeste (59%), seguido da região nordeste (31%), sul (5%), centro-oeste (3%) e norte (2%) (Paulino et al. 2011).

Dessa forma, o setor agrícola irrigado é o que mais faz uso da água, cerca de 70% (Valnir Junior et al., 2017), em consequência ao cultivo em grandes extensões de terras e às exigências hídricas da cultura (Prado; Colombo, 2013), assegurando o suprimento de água onde há demanda. Porém, essa prática vem sendo criticada e responsabilizada pela escassez dos recursos hídricos e de energia elétrica em algumas regiões do país, não levando em consideração que a agricultura irrigada é primordial para aumento da produtividade, produção e qualidade dos alimentos, além da geração de empregos e produtos excedentes para exportação (Cunha, 2009).

Microirrigação

A microirrigação é constituída principalmente por microaspersão e gotejamento. Esse método tem como característica aplicar água com baixa vazão, alta frequência, baixa pressão, por um período de tempo relativamente grande, próximo da zona radicular, acima ou abaixo do

nível do solo, mantendo o solo próximo à capacidade de campo, além de facilitar e servir de veículo para fertilizantes e outros produtos químicos (Frizzzone et al., 2012).

Segundo Oliveira (2008), dentre as vantagens dos sistemas de microirrigação destacam-se: i) melhor aproveitamento do uso da água, defensivos agrícolas e fertilizantes; ii) adaptar-se facilmente a diferentes tipos de solos e topografias; iii) eficiência no controle fitossanitário e; iv) economia de mão de obra e energia.

Como todo sistema de irrigação, a microirrigação possui vantagens e desvantagens. Conforme Bernardo et al. (2011), as principais limitações desse sistema referem-se ao entupimento dos emissores devido a pequenos diâmetros de orifícios fazendo-se necessário um sistema de filtragem eficiente, e a distribuição do sistema radicular em virtude da formação do bulbo molhado, onde as raízes se concentram nessa área diminuindo a estabilidade das árvores frutíferas.

Segundo Macedo (2010), devido as baixas perdas de aplicação de água na microirrigação, esse método se torna de maior eficiência entre os sistemas pressurizados. Também, de acordo com o mesmo autor, os sistemas de microirrigação apresentam os maiores valores de uniformidade de aplicação de água em relação a outros sistemas irrigados.

Sistema de microirrigação por microaspersão

Como alternativa aos sistemas de gotejamento, surgiram os sistemas de microaspersão, com o objetivo de aumentar a área molhada por um emissor, o que é desejável para solos muito permeáveis (Frizzzone et al., 2012).

A aplicação de água na microaspersão ocorre de forma pulverizada por microaspersores e sua área molhada apresenta forma de discos ou faixas molhadas embaixo das copas das plantas (Bernardo et al., 2011).

Segundo Cabello (1996), dentre as vantagens da microaspersão pode-se citar: i) o bulbo úmido – em solos muito leves a irrigação por microaspersão satisfaz as necessidades da cultura referente à extensão de área umedecida; ii) obstruções – os microaspersores são menos propensos a entupimento, devido ao maior diâmetro dos bocais e possuir maior velocidade de água quando comparada ao gotejamento; iii) menor propensão à salinidade do solo – devido a maior área de distribuição de água; iv) uniformidade de irrigação – quando comparada ao gotejamento é maior devido aos bocais terem diâmetros maiores, o que torna pequenas as imperfeições construtivas, além de possuírem maior pressão de trabalho; v) facilidade de manutenção.

Ainda segundo Cabello (1996), a irrigação por microaspersão possui alguns inconvenientes, sendo o maior deles o alto custo de instalação e operação, devido a pressão de serviço ser maior quando comparada com o gotejamento (10 a 20%), ocasionando maior custo de instalações e no funcionamento do sistema. Possui ainda como desvantagem a eficiência de irrigação, devido à água perdida por evaporação e deriva.

A microirrigação por microaspersão é muito utilizada em regiões áridas ou semiáridas para o cultivo de frutíferas, onde há escassez de água, obtendo desta forma uma alta eficiência de aplicação de água (Sampaio et al., 2001).

Segundo Mantovani et al. (2009), a microaspersão é utilizada mais comumente nos cultivos de abacate, citros, banana, manga, uva e mamão. Atualmente, vem sendo muito empregada, principalmente, em viveiros, casas de vegetação e culturas hortícolas (Aalves et al., 2014).

Microaspersores

Os microaspersores são equipamentos providos de um corpo contendo um bocal e um sistema de dispersão que possui função de dispersar a água em todas as direções e extensões de maneira uniforme (Mazzer, 2006). Quando comparado aos gotejadores, os microaspersores são menos sensíveis ao entupimento.

Nos sistemas de irrigação por microaspersão, normalmente, são empregadas tubulações de PVC (linha adutora) e tubulações flexíveis de polietileno, nas quais são inseridos os microaspersores que operam com pressões variando de 5 a 25 m.c.a. (metro de coluna de água), embora a pressão de serviço da maioria dos microaspersores seja em torno de 15 m.c.a. e vazões de 20 a 160 L h⁻¹, dependendo do diâmetro do bocal (Bernardo et al., 2011).

No mercado existe uma diversidade de microaspersores que possibilitam uma ampla série de vazões, alcances e tipos de montagem, que podem atender o campo aberto e estufas (Bortoluzzi; Prado, 2017). Porém, os mais comumente utilizados são os que possuem um bocal que pulveriza a água e um inserto que a distribui sob forma de um círculo completo ou setorialmente.

As peças dos microaspersores são desmontáveis, permitindo ser combinadas de forma a modificar o funcionamento do microaspersor, como: trocando os bocais se modifica o fluxo; mudando o inserto se modifica o raio de alcance e o setor irrigado. Além do mais, essas peças geralmente possuem cores diferentes, de acordo com o fluxo, raio de alcance, etc (Cabello, 1996).

No processo de fabricação dos emissores, por mais precisos que sejam, torna-se impossível fabricar duas peças exatamente iguais. A diferença entre dois emissores, representada pelo coeficiente de variação de fabricação – CVF (Equação 1) e classificada de acordo com a Tabela 1, pode causar variações significativas de vazão no sistema (Oliveira, 2008).

$$CVF = \frac{s_q}{\bar{q}} \cdot 100 \quad (1)$$

$$\text{sendo: } s_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2}{n - 1}}$$

Em que:

CVF: coeficiente de variação de fabricação, %;

s_q – desvio padrão das vazões do emissor para uma mesma pressão de operação, L h⁻¹;

\bar{q} : vazão média dos emissores, L h⁻¹;

q_i : vazão do emissor de índice i, L h⁻¹;

n: número de emissores avaliados.

Tabela 1- Classificação do coeficiente de variação de fabricação de emissores

CVF	Classificação
CVF ≤ 5%	Bom
5% < CVF ≤ 10%	Médio
10% < CVF ≤ 15%	Marginal
CVF > 15%	Inaceitável

Fonte: American Society of Agricultural Engineers Standards EP 405 (2003).

Conforme Keller e Karmeli (1974), as características geométricas dos emissores são fixas e a variação de pressão determina a variação de vazão, que pode ser representada pela equação 2:

$$q = k \cdot H^x \quad (2)$$

Em que:

q: vazão do emissor, L h⁻¹;

k: constante de proporcionalidade de cada emissor;

H: Pressão hidráulica determinada na entrada do emissor, kPa;

x: expoente de descarga.

Para Keller e Karmelli (1974), o expoente “x” caracteriza a variação do fluxo em resposta às variações de pressões, de modo que: i) quando o x da equação 2 tender a 1, o emissor apresenta regime laminar; ii) quando o x da equação 2 tender a 0,5, o emissor apresenta regime turbulento, e; iii) quando o emissor for autocompensante, normalmente o x da equação 2 tende a 0. Quando o emissor é autocompensante, a vazão é constante independente da variação de pressão, o que torna uma condição ideal por permitir grandes variações de carga nas laterais, provocadas pela fricção e/ou pelo aclave do terreno (Dantas Neto et al., 1997).

Distribuição de água de microaspersores

Segundo Rezende et al. (2002), devido a necessidade de conservação dos recursos hídricos e o aumento dos custos, principalmente de energia e insumos agrícolas, os métodos de irrigação devem proporcionar uma distribuição de água uniforme e eficiente.

Em um projeto de irrigação por aspersão, para se proporcionar uma boa uniformidade de aplicação de água, é preciso conhecer as características de distribuição de água dos aspersores para as mais diversas pressões de serviço e diâmetro de bocais (Prado; Colombo, 2005). Esse mesmo princípio pode ser aplicado à microaspersão (Bortoluzzi; Prado, 2017).

Conhecer o perfil de distribuição de água de um aspersor é importante para desenvolvimento de protótipos de aspersores, pesquisa, controle de qualidade de fabricação e avaliação do aspersor por parte do consumidor (Prado; Colombo, 2005).

Conforme Conceição (2004), dentre os fatores que afetam a distribuição de água aplicada por microaspersores destacam-se: i) o diâmetro dos bocais; ii) a geometria e rugosidade dos orifícios; iii) a inclinação de lançamento do jato; iv) a velocidade do jato; v) a altura do emissor em relação ao solo; vi) a estabilidade da haste de sustentação do emissor e; vii) fatores climáticos, principalmente a velocidade e direção do vento.

Conceição (2002) discorre que a ocorrência de vento durante a aplicação de água em sistemas de aspersão ou microaspersão, além de afetar a uniformidade de distribuição de água, aumenta significativamente as perdas por evaporação e deriva.

A nível de campo, tem-se verificado que a qualidade e a manutenção dos materiais e equipamentos dos sistemas de irrigação têm comprometido a eficiência do manejo de água, recomendada para irrigação localizada. Portanto, faz-se necessário a realização de ensaios, objetivando avaliar o desempenho destes equipamentos a nível de laboratório e de campo (Nascimento et al., 1999).

A norma ISO 8026 (ISO, 1995) considera o método da malha (Figura 1) para ensaios de determinação do perfil de distribuição de água de microaspersores difusores. Nesse método, os coletores são distribuídos em torno do aspersor, sendo recomendado, que o sistema fique em operação por no mínimo uma hora sem interferência do vento. Deve-se ainda mensurar a pressão de serviço durante os ensaios, além de determinar a vazão do sistema através de hidrômetros.

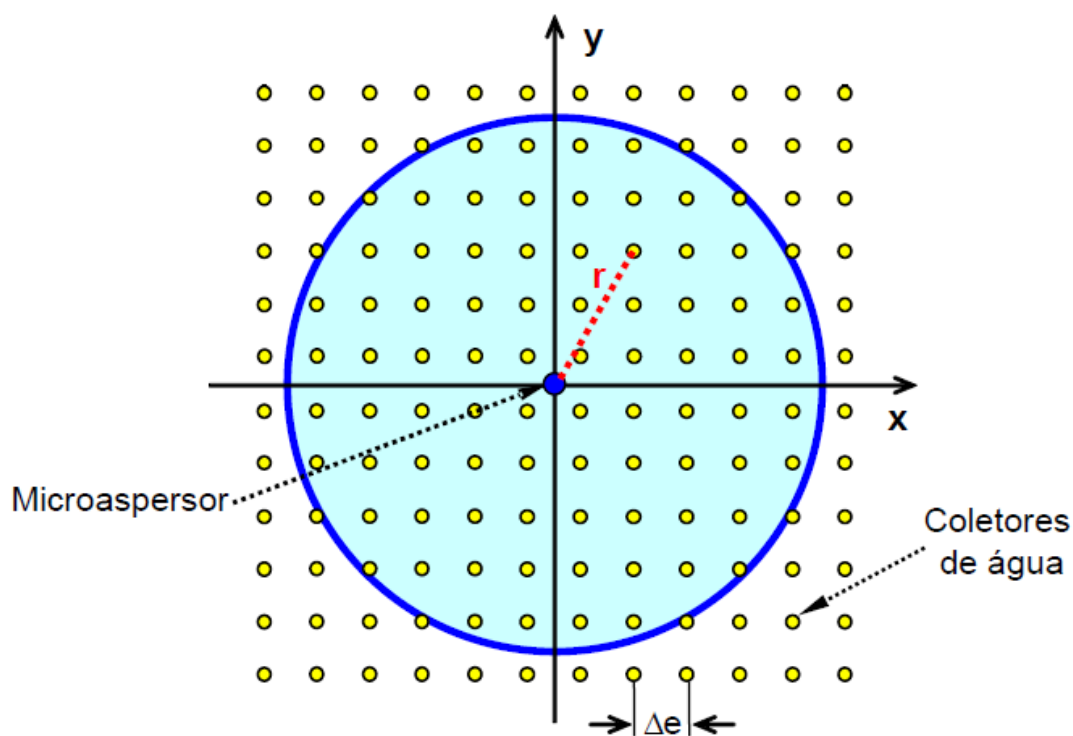


Figura 1- Representação da malha de coletores utilizada para ensaios de distribuição de água de microaspersor operando isoladamente.

Há uma ausência de informações técnicas a respeito dos diversos modelos de aspersores disponíveis no mercado, visto que é de suma importância o conhecimento do perfil de distribuição de água para a seleção correta de aspersores. A maioria dos catálogos técnicos dos fabricantes não especifica o perfil radial de água dos seus emissores, para diferentes combinações de bocais e pressões de serviço, e limita-se a apresentação de valores de vazão e raio de alcance (Prado; Colombo, 2005).

As inúmeras possibilidades de combinações de pressão de serviço, diâmetro de bocais e condições de vento, tornam difíceis a realização de ensaios de distribuição de água, necessitando-se de procedimentos que permitam determinar perfis radiais de distribuição de água em condições intermediárias àquelas ensaiadas em laboratório (Prado; Colombo, 2009).

Pensando nisso, Bortoluzzi e Prado (2017) empregaram o algoritmo de agrupamento (método K-Means) de perfis radiais, descrito detalhadamente por Prado e Colombo (2005). Para tanto, os perfis radiais precisam ser adimensionalizados, como retratado por Solomon e Bezdek (1980) em que deve-se expressar a distância ao emissor em termos do raio de alcance (fração do raio) e a respectiva intensidade de precipitação, em termos da intensidade média do aspersor (fração da intensidade). Os autores obtiveram resultados satisfatórios para representar as diferentes condições operacionais do microaspersor Naan Hadar® 7110, operando isoladamente.

Considerações Finais

O perfil de distribuição de água de emissores é de suma importância para a avaliação do equipamento, bem como para a qualidade do manejo de irrigação, tornando-se assim importante para a escolha da melhor condição operacional do microaspersor, afim de otimizar seu funcionamento e reduzindo perdas hídricas.

REFERÊNCIAS

- ALVES, É. S.; DANTAS NETO, J.; SANTOS, D.P.; SILVA, P.F.; SANTOS, M.A.L. Avaliação hidráulica de microaspersores em laboratório. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 2, p. 1886-1891, 2014.
- AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. ASAE EP405.1: **Design and Installation of Microirrigation Systems**. St. Joseph, 2003. 6 p.
- ANDRADE, S. M. **Desempenho hidráulico de microaspersor autocompensante, novo e usado**. 2013. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Ciência do Solo) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2011. 625 p.
- BORTOLUZZI, D. D.; PRADO, G. Modelagem da distribuição de água de microaspersores. **Revista Brasileira de Agricultura irrigada**, Fortaleza, v.11, n.7, p. 2063-2075, 2017.
- CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF): goteo, microaspersión, exudación**. 3.ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1996. 513 p.

CONCEIÇÃO, M. A. F. **Simulação da distribuição de água em microaspersores sob condições de vento**. 2002. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” USP, Piracicaba, 2002.

CONCEIÇÃO, M. A. F.; COELHO, R. D. Distribuição do volume de água aplicado pelo microaspersor DAN 2001. **Irriga**, Botucatu. v.9, p.289-295, 2004.

CUNHA, F.F.; ALENCAR, C.A.B.; VICENTE, M.R.; BATISTA, R.O.; SOUZA, J.A.R. Comparação de equações para cálculo da uniformidade de aplicação de água para diferentes sistemas de irrigação. **Engenharia na agricultura**, v.17, n.5, p.404-417, 2009.

DAKER, A. **Irrigação e drenagem: a água na agricultura**. 7.ed. Pernambuco: Livraria Freitas Bastos, 1988. V.3. 543 p.

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

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P.S.L.; REZENDE, R.; FARIA, M.A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá: Eduem, 2012. 356 p.

GONCALVES, A.C.A.; TRINTINALHA, M.A.; FOLEGATTI, M.V.; REZENDE, R.; TORMENA, C.A. Spatial variability and temporal stability of water storage in a cultivated tropical soil. **Bragantia**, Campinas, v.69, p.153-162, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 8026. **Agricultural irrigation equipment – Sprayers: General requirements and test methods**. Switzerland, 1995. 11p.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v.17, n.4, p.678-684, 1974.

MACEDO, A. B. M.; GOMES FILHO, R.R.; LIMA, S.C.R.V.; VALNIR JÚNIOR, M.; CAVALCANTE JÚNIOR, J.A.H.; ARAÚJO, H.F. Desempenho Hidráulico de um sistema de irrigação por microaspersão utilizando dois tipos de emissores. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 2, p. 82-86, 2010.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: Princípios e métodos**. 3.ed. Viçosa: UFV, 2009. 355 p.

MAZZER, H. R. **Avaliação de desempenho de microaspersores em bancada de ensaio sob diferentes sistemas de aplicação**. 2006. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas da UNESP, Botucatu, 2006.

NASCIMENTO, T.; SOARES, J. M.; AZEVEDO, C. A. V. Caracterização hidráulica do microaspersor RAIN-BIRD QN-14. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 30-33, 1999.

OLIVEIRA, E. F. **Avaliação da vazão do microaspersor Amanco MF, antes e após o uso com água residuária.** 2008. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Botucatu, 2008.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C. A.; ROMÁN, R. M. S., JOSÉ, J. V. Brazil agriculture irrigated status according to the agricultural census of 2006. **Irriga**, Botucatu. v.16, n. 2, p. 163-176, 2011.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Caracterização técnica do aspersor PLONA-RL300. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 53-63, 2005.

PRADO, G.; COLOMBO, A. Composição de perfis radiais de distribuição de água de aspersores. **Irriga**, v.14, p.41-53, 2009.

PRADO, G; COLOMBO, A. Interpolação de perfis radiais de distribuição de água de aspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.17, n.4: p.355-361, 2013.

REZENDE, R.; GONÇALVES, A. C. A.; FREITAS, P. S. L.; FRIZZONE, J. A.; TORMENA, C. A.; BERTONHA, A. Influência da aplicação de água na uniformidade da umidade no perfil do solo. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1553-1559, 2002.

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

SOLOMON, K.; BEZDEK, J. C. Characterizing sprinkler distribution patterns with a clustering algorithm. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 23, n. 4, p. 899-906, 1980.

VANIR JUNIOR, M.; RIBEIRO, F.C.; ROCHA, J.P.A.; LIMA, S.C.R.V.; CARVALHO, C.M.; GOMES FILHO, R.R. Desenvolvimento de um software para o manejo da microirrigação. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza. v.11, n.2: p.1324-1330, 2017.