



RODRIGO PINHEIRO FERREIRA PENA

**CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE UM
MICROASPELADOR EM FASE DE DESENVOLVIMENTO**

**LAVRAS – MG
2020**

RODRIGO PINHEIRO FERREIRA PENA

**CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE UM MICROASPELADOR EM FASE DE
DESENVOLVIMENTO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Lavras, como parte das exigências do
Curso de Engenharia Agrícola, para a
obtenção do título de Bacharel.

Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto
Orientador

**LAVRAS – MG
2020**

RODRIGO PINHEIRO FERREIRA PENA

**CARACTERIZAÇÃO HIDRÁULICA DE UM MICROASPELADOR EM FASE DE
DESENVOLVIMENTO**

Relatório de estágio supervisionado apresentado à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Agrícola, para a obtenção do título de Bacharel.

Aprovado em 11 de agosto de 2020.

Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto – UFLA

Prof. Dr. Gilberto Coelho – UFLA

Me. José Henrique Nunes Flores – UFLA



Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto
Universidade Federal de Lavras

“A minha família, que nunca deixou de acreditar e me apoiar em cada decisão durante toda essa caminhada. Vocês foram essenciais.”

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por chegar até aqui e poder realizar este sonho.

À minha família pelo amor incondicional e compreensão em cada fase dessa jornada.

Aos amigos que estiveram ao meu lado me apoiando em todos os momentos, em especial a Carolina Garcia, Maria Victória Oliveira e Rhuane Jackeline que me deram suporte essencial para realização deste trabalho.

Aos professores que contribuíram para minha formação acadêmica, em especial ao Prof. Dr. Adriano Valentim Diotto, pela orientação, atenção e conhecimento transmitido nessa etapa final da graduação.

A empresa Implebrás Irrigação, pelo fornecimento dos microaspersores e informações necessárias para a execução deste trabalho.

Enfim, muito obrigado, Universidade Federal de Lavras por toda experiência proporcionada nestes anos e pela oportunidade de me tornar Engenheiro Agrícola.

MUITO OBRIGADO A TODOS QUE TORCERAM POR MIM!

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi determinar as características hidráulicas, a nível de laboratório, do microaspersor 330 L h^{-1} , de bocal roxo em fase de desenvolvimento pela empresa Implebrás Irrigação. Realizaram-se testes no Laboratório de Irrigação da Universidade Federal de Lavras, determinando-se a equação característica vazão-pressão, o coeficiente de variação de fabricação (CVf), o raio de alcance médio e a uniformidade de distribuição de água do microaspersor. Visando-se gerar informações que possam contribuir para o desenvolvimento e aprimoramento do emissor pelo fabricante, assim como, no dimensionamento de sistemas e manejo de áreas irrigadas com este microaspersor. A equação característica obtida do emissor foi igual a $q = 267,1H^{0,485}$, caracterizado como de fluxo turbulento; o CVf médio foi de 1,8%, considerado como bom pela ABNT. O microaspersor obteve um raio de alcance médio igual a 6,5 m com taxa de aplicação média de $2,2 \text{ mm h}^{-1}$ ao longo do seu raio. A disposição que apresentou melhor sobreposição e uniformidade de distribuição foi na disposição quadrangular com o espaçamento de 4x4 m e CUC igual a 95%.

Palavras-chave: coeficiente de uniformidade, equação característica, microaspersão, coeficiente de variação de fabricação, irrigação localizada.

ABSTRACT

In order to assess the hydraulic characteristics of the microsprinkler Implebrás 330 L h⁻¹, with a purple nozzle manufactured by Implebrás Irrigação, tests were carried out in the Irrigation Laboratory of the Universidade Federal de Lavras (UFLA). Estimates were made for characteristic equation (flow - pressure relation), manufacturing coefficient of variation, profile of distribution, uniformity of water application, aiming to generate information that can contribute to the development and improvement of the emitter by the manufacturer, as well as in the design of systems and management of irrigated areas with this microsprinkler. The manufacture's coefficient of variation was 1,8% classified as good by ABNT and the characteristic equation is $q = 267,1H^{0,485}$, characterizing a turbulent flow; The microsprinkler obtained an average range of 6.5 m with a precipitation of 2.2 mm h⁻¹. The best emitter spacing with overlap found was 4x4 m and the application uniformity was 95%.

Keywords: uniformity coefficient, characteristic equation, microsprinkler, manufacturing coefficient of variation, localized irrigation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Componentes do microaspersor Implebrás 330 L h ⁻¹	18
Figura 2 – Microaspersor Implebrás 330 L h ⁻¹	18
Figura 3 – Sistema para medição da vazão e da pressão do microaspersor Implebrás.....	19
Figura 4 – Malha de coletores e microaspersor instalados.....	22
Figura 5 – Arranjo da malha para ensaio de distribuição de água.....	22
Figura 6 – Curva característica vazão-pressão do microaspersor Implebrás.....	25
Figura 7 - Perfil de distribuição de água dos oito raios coletados do microaspersor Implebrás 330 L h ⁻¹ , operando em condições de laboratório sob pressão de 150 kPa.....	26
Figura 8 – Perfil médio de distribuição de água do microaspersor Implebrás 330 L h ⁻¹ , operando em condições de laboratório sob pressão de 150 kPa.....	26
Figura 9 – Perfil tridimensional do microaspersor Implebrás, sob pressão de trabalho de 150 kPa, em condição de laboratório.....	28
Figura 9 – Mapa de isoietas do microaspersor Implebrás, sob pressão de trabalho de 150 kPa, em condição de laboratório.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação do coeficiente de variação de fabricação de emissores, segundo a ABNT (1986)	20
Tabela 2 – Classificação do coeficiente de variação de fabricação de emissores de saída pontual, segundo a ASAE (1994)	20
Tabela 3 – Classificação dos valores dos coeficientes de uniformidade, CUC e CUD.....	23
Tabela 4 – Valores de vazão média, desvio-padrão, coeficiente de variação de fabricação e classificação nas pressões ensaiadas para o microaspersor Implebrás 330 L h ⁻¹	24
Tabela 5 – Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), para diferentes espaçamentos a pressão de trabalho de 150kPa.....	27

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Sistema de irrigação por microaspersão.....	13
2.2	Avaliação das características hidráulicas dos emissores	14
3	MATERIAL E MÉTODOS	18
3.1	Coeficiente de Variação de Fabricação.....	19
3.2	Equação Característica do emissor	20
3.3	Uniformidade de distribuição de água.....	21
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
4.1	Coeficiente de Variação de Fabricação.....	24
4.2	Equação Característica do emissor	25
4.3	Uniformidade de distribuição de água.....	25
5	CONCLUSÃO	30
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	31

1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta-se no ranking dos dez países com as maiores áreas disponíveis para implementação de sistemas de irrigação no mundo, segundo pesquisas feita pela FAO (2017), porém a área irrigada atual do país é pequena frente ao potencial estimado quando analisado a área agrícola, as condições climáticas e disponibilidade hídrica distribuída pelo território nacional.

De acordo com o Agência Nacional de Águas – ANA (2017), observou-se que a irrigação localizada e aspersão por pivô central, representaram aproximadamente 70% do aumento de área irrigada no país entre 2006 e 2016. Em 2018, dos 200.750 novos hectares irrigados do país, 64 mil hectares eram provenientes de irrigação localizada por gotejamento ou microaspersão, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ). A área total irrigada no Brasil era próxima a 7 milhões de hectares em 2016 com perspectiva de crescimento de 3,4 milhões de hectares até 2030, portanto, o potencial de crescimento do setor de irrigação localizada tende a crescer cada vez mais visto que é um dos métodos mais eficientes no uso da água, segundo a ANA (2017).

É possível definir diferentes métodos para a irrigação, ou seja, a forma como a água é aplicada a cultura, os principais métodos são: aspersão; localizada; superfície. Para atender a demanda hídrica da planta é necessário fazer uso de diferentes sistemas de irrigação, podendo ser definidos em sua totalidade como os equipamentos, operacionalidade e manejo da irrigação de um determinado método escolhido.

A irrigação localizada é um dos métodos de irrigação implementados ao redor do mundo, consistindo na aplicação direta de uma quantidade de água sobre uma área limitada do solo, geralmente próximo a área sombreada ou perto do caule resultando na umidificação do sistema radicular da planta e conseqüentemente no melhor aproveitamento da água. Esse método caracteriza-se pela aplicação de pequenos volumes de água, sob pressão, com alta frequência (TESTEZLAF, 2017), reduzindo assim, as perdas de água por evaporação e percolação quando comparado a outros sistemas (MANTOVANI et al., 2009), isso se bem dimensionado e manejado.

A microaspersão é um dos sistemas que contemplam o método de irrigação localizada, seu funcionamento baseia-se no lançamento de pequenos jatos lançados ao ar pelos emissores, atingindo distâncias menores ao ser comparado com aspersores convencionais, porém irrigam áreas maiores quando comparado ao gotejamento.

Existem três pilares para obter uma irrigação de qualidade, segundo Mantovani; Bernardo e Palaretti (2009), que são: a elaboração de projetos que atendam as necessidades da região e da cultura de forma adequada; mão de obra tecnicizada e uso de equipamentos de qualidade. Contemplando a parte de equipamentos, a escolha dos emissores possui grande influência no momento de instalação do sistema de irrigação e para estarem qualificados para uso é preciso realizar testes a nível de campo e de laboratório averiguando se atendem os parâmetros mínimos de eficiência.

Para obter resultados satisfatórios quanto a eficiência em sistemas de irrigação, é necessário testar constantemente a uniformidade de aplicação de água dos emissores utilizados, fazendo-se uso de equações que avaliem a distribuição de água. Segundo Silva; Silva (2005), sistemas bem dimensionados e uniformes na aplicação de água são essenciais para garantir a produtividade da lavoura. Segundo Gilaad et al. (1974), as características hidráulicas sofrem influência pela geometria, pelo material e processo de fabricação, e pelo método de conexão do emissor com a linha lateral.

A uniformidade de distribuição é um parâmetro que deve ser observado com atenção, segundo Prado e Colombo (2007) sistemas com baixa uniformidade de aplicação de água propiciam redução na produção e uso excessivo de água. Para isso, existem diversos coeficientes utilizados para descrever a variabilidade de distribuição da água aplicada por emissores, como o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) que adota o desvio médio absoluto como medida de dispersão e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) que considera a razão entre a média do menor quartil e a lâmina média coletada.

Outro coeficiente importante quando se analisa emissores de água é o coeficiente de variação de fabricação (CVf), que diz respeito a avaliação da variação do processo de fabricação dos emissores.

Dessa forma, o conhecimento das características hidráulicas do emissor a ser utilizado é imprescindível para o dimensionamento e operação adequados de um sistema de irrigação. Entre as características hidráulicas de emissores na irrigação localizada, encontra-se: a relação entre vazão e pressão na entrada do emissor; a uniformidade de fabricação e uniformidade de distribuição espacial de água (ABNT 2004).

Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar as características hidráulicas do microaspersor Implebrás 330 L h⁻¹, em fase de desenvolvimento pela Implebrás Irrigação, quando submetido a diferentes faixas de pressões determinando como se comporta a vazão, o coeficiente de variação de fabricação, o perfil radial e uniformidade de distribuição de água em diferentes espaçamentos.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Sistema de irrigação por microaspersão

O sistema de microaspersão surgiu como uma forma alternativa ao de gotejamento, visando aumentar a região molhada pelo emissor. Em geral, esse sistema requer menor exigência de filtragem, pois opera com orifícios de maiores diâmetros, sendo menos propenso a entupimentos em relação ao gotejamento, porém, não isenta a utilização de filtros na montagem do sistema.

Os emissores da microaspersão podem ser classificados em microaspersor rotativo, quando os emissores possuem elemento giratório e microaspersor estacionário, quando não possuem parte móvel (TESTELAF, 2017). Os elementos giratórios permitem maior alcance e distribuição do jato d'água, denominadas asas giratórias ou bailarinas. Já os elementos fixos, denominados difusores, ficam acoplados de forma fixa proporcionando menor alcance do jato. Comumente emprega-se o termo miniaspersores quando a vazão atinge valores superiores a 150 L h^{-1} , entretanto sem ultrapassar a vazão dos aspersores convencionais (FRIZZONE, 2017).

Silva (1989), diz que a microaspersão é uma técnica intermediária entre a irrigação por aspersão e irrigação por gotejamento, pois se beneficia das vantagens dos dois sistemas citados, como a economia de água; economia de mão-de-obra; eliminação do nivelamento do solo; possibilidade do uso de água mais salina; boa distribuição de adubos líquidos e produtos solúveis. Porém, se enquadra em algumas desvantagens dos sistemas citados, como a perda por evaporação e deriva (TESTELAF, 2017).

Segundo Martí (1993) citado por Costa (1994), a microaspersão é mais recomendada para solos de baixa capacidade de infiltração, uma vez que o volume de água aplicado por unidade de área da superfície é menor que a aplicada por gotejo.

Segundo Oliveira et. al. (1988) um sistema de irrigação localizada desempenha níveis econômicos satisfatórios desde que o manejo seja adequado, para isso, é necessário definir determinados parâmetros como forma de controlar a irrigação sem gerar deficiências ou excessos.

2.2 Avaliação das características hidráulicas dos emissores

Devido a crescente expansão da área irrigada no país e no mundo, a demanda por equipamentos para irrigação também está aumentando, surgindo inovações no mercado, de produtos fabricados com vários tipos de máquinas e materiais. Consequentemente esses produtos necessitam de avaliação de desempenho e características estruturais, determinando parâmetros a serem atendidos como forma de certificar sua operacionalidade (SILVA; SILVA, 2003). Siqueira e Barros Júnior (2003), definem que a principal finalidade de ensaios de equipamentos utilizados em sistemas de irrigação localizada fundamenta-se na determinação e avaliação de suas características hidráulicas.

Para Vermeiren e Jobling (1984) os emissores precisam satisfazer três requisitos sendo eles: vazão pequena, uniforme e constante; orifício de saída relativamente grande reduzindo a chance de eventuais entupimentos; compacto e de baixo custo.

De acordo com Olitta (1987), a vazão de um emissor está relacionada diretamente com a pressão atuante em sua entrada, podendo ser representada segundo Keller e Karmeli (1974), pela Equação 1.

$$q = k \cdot H^x \quad (\text{Eq. 1})$$

em que,

q – vazão do emissor (L h^{-1});

k – constante de proporcionalidade que caracteriza cada emissor;

H – carga de pressão de serviço do emissor (kPa);

x – expoente de descarga do emissor que caracteriza o regime de fluxo.

Segundo Keller e Karmeli (1974), consideram um emissor de regime laminar quando o expoente $x = 1$ e de regime turbulento com $x = 0,5$. Para Pizarro Cabello (1986) um emissor autocompensante perfeito apresenta expoente $x = 0$, ou seja, mantendo a vazão constante em toda a linha, os de regime laminar com $x = 1$ e de regime turbulento $x < 1$.

A mínima variação na vazão dos emissores pode alterar a lâmina de água aplicada a cultura estando relacionado ao coeficiente de variação de fabricação (CVf), que diz respeito a avaliação da variação do processo de fabricação dos emissores. Para Solomon (1979), o coeficiente de variação de fabricação é o mais adequado para avaliar as diferenças individuais

entre os emissores, assim como, um importante dado que corresponde a forma de tratamento aplicado no processo de fabricação, quanto aos materiais e processos usados na sua construção.

De acordo com Dantas Neto et. al. (1997), pequenas diferenças entre dois emissores aparentemente idênticos podem causar variações significativas na vazão do sistema. Pelo diâmetro do orifício de saída de água estar dentro da casa dos milímetros, qualquer variação da sua dimensão pode afetar a vazão dos emissores a uma mesma pressão (COSTA, 1994).

Solomon (1979) cita que é praticamente impossível a fabricação de um lote de emissores com características de desempenho idênticas, portanto, as principais causas de variação de fabricação são devido a fatores interferentes no processo de moldagem do produto e do comportamento do material moldado, como o tempo de ciclo, temperatura, velocidade de injeção e pressão.

Apesar das pequenas diferenças entre emissores resultantes do processo de fabricação, a variação encontrada, de forma geral, tende a distribuir-se próximo ao valor médio (KELLER; KARMELI, 1974). O coeficiente de variação de fabricação, pode ser definido pela equação proposta por Keller e Bliesner (1990), conforme a Equação 2.

$$CVf = \frac{s}{q_{med}} 100 \quad \text{Eq. (2)}$$

em que,

CVf – Coeficiente de variação de fabricação (%);

s – Desvio padrão ($L h^{-1}$);

q_{med} – Médias de todas as vazões ($L h^{-1}$).

A Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas (American Society of Agricultural Engineers – ASAE, 1994) classifica os emissores quanto ao coeficiente de variação de fabricação da seguinte forma: nos CVf de até 5%, a uniformidade é excelente; entre 5% a 7% é média; entre 7% a 11% é marginal; entre 11% a 15% é deficiente e, acima de 15% é inaceitável. Para a Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (1986), os emissores de CVf inferior a 10% têm uniformidade boa; de 10% a 20%, média; de 20% a 30%, marginal e superior a 30%, inaceitável.

Outro parâmetro importante a ser avaliado é a uniformidade de distribuição de água, característica que exprime o grau de uniformização das lâminas de irrigação na superfície do solo, indicando se a quantidade distribuída de água está em equivalência para todas as plantas

da lavoura. Esse parâmetro está ligado ao dimensionamento do sistema a ser implementado, uma vez que o projeto agrônomo é afetado no momento de decisão das necessidades totais de água, assim como o projeto hidráulico, que define os limites de variação de vazão dos emissores pela uniformidade, interferindo também na capacidade de economia de água do sistema e na produtividade da cultura, segundo Pizarro Cabello (1986) citado por Soares (2013). Em um sistema de irrigação quanto maior a uniformidade de distribuição de água aplicada, melhor será seu desempenho (SILVA; AZEVEDO e LIMA, 2002). Já um sistema com menor uniformidade requisitará uma maior lâmina para suprir as demandas de produtividade da cultura, de acordo com Mantovani; Bernardo e Palaretti (2009).

O coeficiente de uniformidade de Christiansen – CUC (1942) relaciona a diferença de valores ensaiados de um conjunto de medidas de lâmina de água ou vazão coletada, representando as subáreas da área irrigada, e a média geral desse conjunto. Esse índice expressa o grau de variação existente entre os desvios absolutos, sendo representado pela Equação 3, proposta por Christiansen (1942).

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum |x_i - \bar{x}|}{\sum n \bar{x}} \right) \quad (\text{Eq. 3})$$

em que,

CUC – coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

x_i – lâmina em cada coletor i (mm h^{-1});

$\bar{x} = (\sum x_i / n)$ - lâmina média dos coletores (mm h^{-1});

n – número de coletores

É considerado por muitos autores o parâmetro que melhor expressa a uniformidade, medindo a variabilidade de água aplicado pelo sistema de irrigação, sendo que um sistema de irrigação com coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) de 85% representa que 85% da área irrigada recebe lâmina de água próxima a lâmina média aplicada (SOARES, 2013).

A irrigação localizada possui valores de eficiência de aplicação maiores quando comparada a outros sistemas de irrigação, sendo para a localizada de 80% a 90% enquanto para a aspersão e superfície é da ordem de 80% e de 50% a 70%, respectivamente, segundo Keller e Bliesner (1990).

Para Mantovani (2001), o critério é mais restritivo devendo apresentar eficiência de aplicação mínima de 90%, enquanto para Bernardo (2006) deve ser superior a 80% para a irrigação localizada. Ambos autores possuem o mesmo critério quanto a classificação do

desempenho de sistemas de irrigação localizada em função do CUC sendo que: CUC maior que 90%, a uniformidade de distribuição é excelente; entre 80% a 90%, bom; entre 70% a 80%, razoável; entre 60% a 70%, ruim e inferior a 60%, inaceitável.

De acordo com Pizarro (1990), assim como para Mantovani (2001), em irrigação localizada deve-se utilizar critérios mais exigentes fazendo-se uso do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) apresentado por Criddle (1956), conforme a Equação 4. Keller e Bliesner (1990) afirmaram que o CUD é um índice mais rigoroso de avaliar um sistema de irrigação, visto que só considera a média de 25 % da área que recebe menos água em relação a média total.

$$CUD = \frac{q^{25}}{\bar{q}} 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

em que,

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição (%);

q^{25} - lâmina média dos 25% menores valores de lâmina (mm h^{-1});

\bar{q} – lâmina média total observada (mm h^{-1}).

A classificação do desempenho de sistemas de irrigação localizada em função do CUD feita por Mantovani (2001) segue o critério: CUD maior que 84%, uniformidade de distribuição excelente; entre 68% a 84%, bom; entre 52% a 68%, razoável; entre 36% a 52%, ruim e inferiores a 36%, inaceitável.

O ensaio de uniformidade de distribuição de água é o que caracteriza e determina o funcionamento do microaspersor sobre uma superfície irrigada. As curvas isoietas delimitam a área molhada pelo microaspersor e as curvas pluviométricas nos indicam a precipitação horária que recebe o terreno (COSTA,1994).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Irrigação do Departamento de Recursos Hídricos e Saneamento da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras, MG, Latitude: 21° 14' 45" Sul, Longitude: 44° 59' 59" Oeste, situado a altitude média de 920 metros, em condições de vento nulo.

Para os ensaios utilizou-se o microaspersor Implebrás (Figura 1), com bocal e corpo de plástico poliacetal e bailarina constituída de nylon, rotativo, com ângulo de cobertura de 360°, apresentando bocal roxo de 2,8 mm de diâmetro interno, com vazão nominal de 330 L h⁻¹ a uma pressão de serviço igual a 150 kPa, fabricado pela Implebrás Irrigação, com a finalidade de determinar a equação característica vazão-pressão; o perfil de distribuição de água; a uniformidade de distribuição de água pelo microaspersor e o coeficiente de variação de fabricação, o experimento dividiu-se em três fases.

Figura 1- Componentes do microaspersor Implebrás 330 L h⁻¹.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 2 - Microaspersor Implebrás 330 L h⁻¹ montado.



Fonte: Do autor (2020).

3.1 Coeficiente de Variação de Fabricação

Na primeira fase, respeitando as recomendações da ABNT (2004), amostrou-se aleatoriamente 15 microaspersores de um lote doado pela empresa fabricante, cada microaspersor foi devidamente identificado com uma numeração de 1 a 15 e as vazões determinadas sob condições de pressão de 150 kPa, com três repetições cada uma.

O abastecimento de água foi obtido de um reservatório localizado ao fundo do laboratório sendo o sistema de bombeamento composto por uma bomba centrífuga de 5,5 kW, controlada por inversor de frequência, garantindo a estabilidade da pressão de trabalho. Utilizou-se um retorno de água para o reservatório, evitando que a vazão ficasse baixa.

O sistema utilizado recalava água por uma tubulação de PVC até passar pelo filtro de tela $\frac{3}{4}$ " de 130 micras na alimentação do microaspersor. Logo após passar pelo filtro, a água foi conduzida por um tubo de polietileno de 16 mm de diâmetro interno, e conectado um microaspersor ao final do tubo. Para registrar a pressão manométrica, um pressostato digital com leitura de 0 a 148 Bar com precisão de 0,2%, foi acoplado próximo a saída de água do microaspersor (Figura 2). O sistema, também contava com outros dois sensores que monitoraram e registraram a temperatura da água e do ar a cada segundo, os dados foram coletados pelo software LoggerNet e o datalogger CR10X.

Figura 3 - Sistema montado para medição da vazão e da pressão do microaspersor Implebrás.



Fonte: Do autor (2020).

O sistema foi montado no piso do laboratório e o ensaio foi realizado em um microaspersor por vez, no qual o emissor ficou encaixado de forma invertida dentro de um galão de plástico com uma abertura na tampa para interceptar o jato d'água que respingava direcionando o líquido para dentro do recipiente plástico com capacidade de 50 L, previamente

tarado. O tempo de coleta foi de 300 segundos para cada emissor, com variação de milésimos de segundos em conformidade com a ABNT (2004). Após a coleta, o galão foi pesado em uma balança eletrônica digital, com capacidade de 100 kg e resolução de 0,01g.

A vazão de cada emissor foi obtida através da razão entre o peso de água coletado, densidade da água e tempo de coleta. Os testes foram realizados com água a temperatura de aproximadamente 20°C e temperatura do ar aproximadamente 25°C. Com esses dados, foi determinado o coeficiente de variação de fabricação (CVf), proposto por Keller e Bliesner (1990), (Equação 2), e classificando-os de acordo com a ABNT (1986) e ASAE (1994), conforme a Tabela 1 e Tabela 2, respectivamente.

Tabela 1 - Classificação do coeficiente de variação de fabricação de emissores, segundo a ABNT (1986).

Tipo do emissor	CVf (%)	Classificação
Saída pontual	< 10	Boa
	10 - 20	Médio
	20 - 30	Marginal
	> 30	Inaceitável

Fonte: Adaptado de ABNT (1986).

Tabela 2 - Classificação do coeficiente de variação de fabricação de emissores de saída pontual, segundo a ASAE (1994).

Tipo do emissor	CVf (%)	Classificação
Saída pontual	< 5	Excelente
	5 - 7	Médio
	7 - 11	Marginal
	11 - 15	Deficiente
	> 15	Inaceitável

Fonte: Adaptado de ASAE (1994).

3.2 Equação Característica do emissor

Para a segunda fase do experimento, para determinar a curva característica vazão-pressão foram selecionados 4 microaspersores, seguindo as recomendações da ABNT (2004), orienta-se a organização dos emissores utilizados no teste de vazão em ordem crescente de vazões e numerá-los de 1 a n, sendo 1 o número do microaspersor com menor vazão e n aquele com maior vazão, selecionando os quatros microaspersores de numeração: 2, $(n/2)-1$, $(n/2)+1$ e n-1, devido a numeração do lote ser ímpar arredondou-se $(n/2)$ para um número inteiro

imediatamente inferior.

Os quatro microaspersores selecionados foram ensaiados com condições de pressões de 50, 100, 150, 200 e 250 kPa, cada teste teve a duração de cinco minutos, com 3 repetições para cada emissor em cada faixa de pressão. O sistema e metodologia utilizada foram os mesmos empregados para o teste de vazão na primeira fase do experimento.

A curva característica vazão-pressão foi obtida através de análise de regressão a partir dos dados gerados no segundo ensaio, sendo os valores de vazão a média das quatro unidades ensaiadas, com três repetições.

3.3 Uniformidade de distribuição de água

Na terceira fase, para determinação do perfil de distribuição de água e do raio de alcance do jato do microaspersor, em ambiente fechado, foram distribuídos ao redor do emissor coletores da marca Fabrimar, com características técnicas de 80 mm de diâmetro e 102 mm de altura, espaçados a cada 0,5 m, seguindo a metodologia instruída pela ABNT (2004) para formação da malha, de modo a cobrir a área molhada. O microaspersor foi escolhido de forma aleatória dentro do grupo dos quatro testados na fase anterior do experimento, instalando-o a uma altura de 0,5 m em relação a seção de captação dos coletores, sendo submetido a uma pressão de trabalho igual a 150 kPa, auxiliado pelo pressostato verificou-se a pressão durante todo o ensaio. Os coletores foram dispostos em fileiras com espaçamento padrão de 0,5 m (Figura 4). Após uma hora de funcionamento, realizou-se a pesagem do volume de água contido em cada coletor, através de um recipiente plástico e uma balança eletrônica digital, com capacidade de 3,2 kg e resolução de 0,01 g. O sistema de bombeamento e filtragem utilizado para essa última fase foi o mesmo das fases anteriores do experimento.

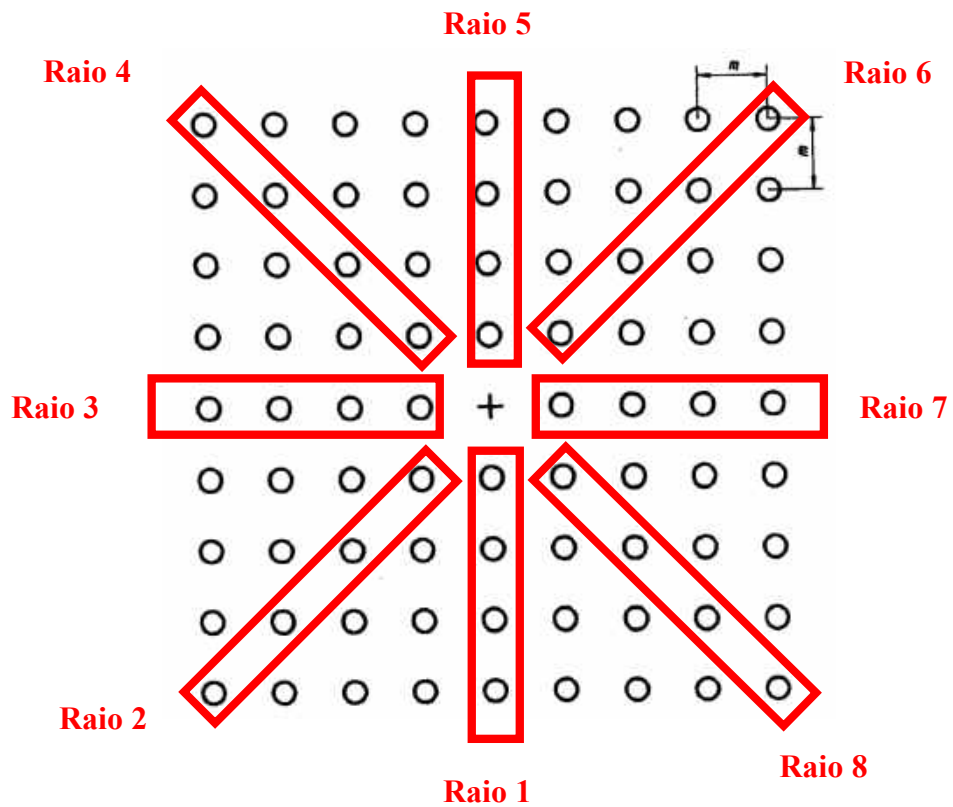
Os valores de precipitação para determinação do raio de alcance e perfil de distribuição de água foram obtidos a partir da média dos oitos raios principais de coletores (Figura 5), sendo a máxima distância medida com as intensidades de aplicação mínima de $0,25 \text{ mm h}^{-1}$ para microaspersores com vazão excedente a 75 L h^{-1} , conforme a ABNT (2004).

Figura 4 - Malha de coletores e microaspersor instalados.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 5 – Arranjo da malha para ensaio de distribuição de água.



m - dimensão lateral de 0,5 m;

+ - microaspersor;

○ - coletores.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 15084 (2004)

Os dados foram registrados em planilha Excel e posteriormente convertidas para formato de leitura de um aplicativo computacional. Utilizou-se a metodologia proposta por Christiansen (1942) para a determinação do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen

(CUC), (Equação 3) e por Criddle (1956) para o Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), (Equação 4).

O cálculo do CUC e do CUD foram feitos através do software SPACE Pro, versão 3.5, simulando a uniformidade de distribuição de água de disposição quadrangular com espaçamentos entre laterais de 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0 e 9,0 metros e entre microaspersores de 4,0; 5,0; 6,0; 7,0; 8,0 e 9,0 metros.

O software Surfer, versão 8.0, foi utilizado para gerar o perfil tridimensional da lâmina de água aplicada e o mapa de isoietas representando a intensidade e quantidade de água das regiões molhadas pelo microaspersor.

Tabela 3 - Classificação dos valores dos coeficientes de uniformidade, CUC e CUD.

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: Adaptado de Mantovani (2001)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Coeficiente de Variação de Fabricação

Os valores dos coeficientes de variação de fabricação (CVf) para cada faixa de pressão ensaiada com suas respectivas vazões média e desvio padrão estão apresentados na Tabela 4. Verifica-se que o microaspersor Implebrás apresentou baixo CVf, demonstrando pequena variação no fluxo dos emissores devido ao processo de fabricação, variando entre 1,46% e 2,12% sendo classificado como “Bom” pela classificação ABNT (1986) e “Excelente” segundo a classificação da ASAE (1994) para todas as pressões em ambas classificações.

Considerando a vazão obtida a pressão de 150 kPa, a qual foi de 321,28 L h⁻¹, com desvio padrão de 4,75 e com CVf de 1,48%, a variação da vazão foi de 2,7% inferior a informada pelo fabricante de 330 L h⁻¹ com pressão de serviço de 150kPa, estando em conformidade com a ABNT NBR ISO 9261: 2006 que determina variação de vazão aceitável de $\pm 7\%$.

Cunha, Cunha e Freire (2010), sob experimentação do microaspersor Amanco MF, encontraram resultados em não conformidade, com vazões 25% inferiores as informadas pelo fabricante demonstrando a importância de o fabricante realizar testes durante todo o processo de desenvolvimento do emissor antes de lançá-lo no mercado, evitando afetar a lâmina de irrigação calculada no dimensionamento do projeto quando o sistema for implementado.

Tabela 4 - Valores de vazão média, desvio-padrão, coeficiente de variação de fabricação e classificação nas pressões ensaiadas para o microaspersor Implebrás 330 L h⁻¹

Pressão (kPa)	Vazão Média (L h ⁻¹)	Desvio Padrão	CVf (%)	Classificação	
				ABNT (1986)	ASAE (1994)
50	186,12	3,28	1,76%	Bom	Excelente
100	264,92	3,87	1,46%	Bom	Excelente
150	321,28	4,75	1,48%	Bom	Excelente
200	378,48	8,01	2,12%	Bom	Excelente
250	425,64	8,62	2,03%	Bom	Excelente

Fonte: Do autor (2020).

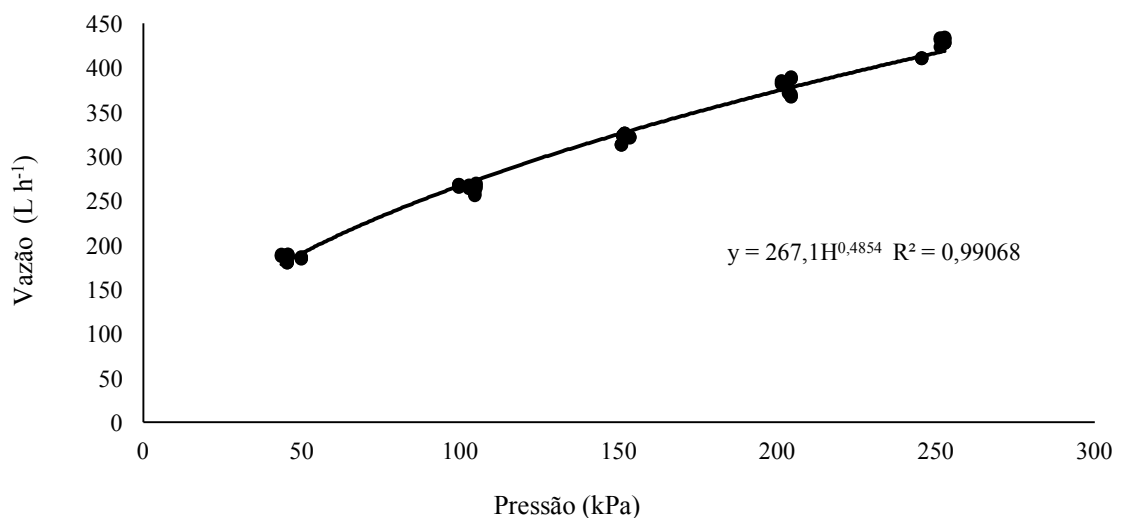
Vale-se ressaltar a importância de os emissores possuírem baixo CVf, pois segundo Keller e Karmeli (1974), a uniformidade de distribuição de água é dependente da precisão com que os equipamentos são fabricados.

4.2 Equação Característica do emissor

A plotagem da curva vazão-pressão (Figura 4), foi obtida a partir dos dados de vazão média em cada pressão ensaiada e feito a análise de regressão, seguindo a metodologia de Keller e Karmeli (1974). A equação característica vazão-pressão do microaspersor Implebrás resultou em $q = 267,1H^{0,4854}$ com um coeficiente de determinação $R^2 = 0,99068$ indicando ajuste adequado dos dados observados. Segundo Keller e Karmeli (1974), é considerado um emissor de regime turbulento o emissor que apresentar o expoente (x) da equação característica igual a 0,5, portanto, o microaspersor Implebrás apresenta-se dentro dessa classificação sendo o seu expoente igual a $x = 0,4854$ (FIGURA 6).

Holanda Filho et al. (2001), obtiveram equação característica vazão-pressão para o microaspersor Rondo 50 L h^{-1} com expoente x igual a 0,516 e Martins et al. (2015), testando o microaspersor MC-20 $130,8 \text{ L h}^{-1}$ encontraram expoente x igual a 0,533, ambos microaspersores não autocompensantes foram classificados como de regime turbulento.

Figura 6 - Curva característica vazão-pressão para o microaspersor Implebrás 330 L h^{-1} .



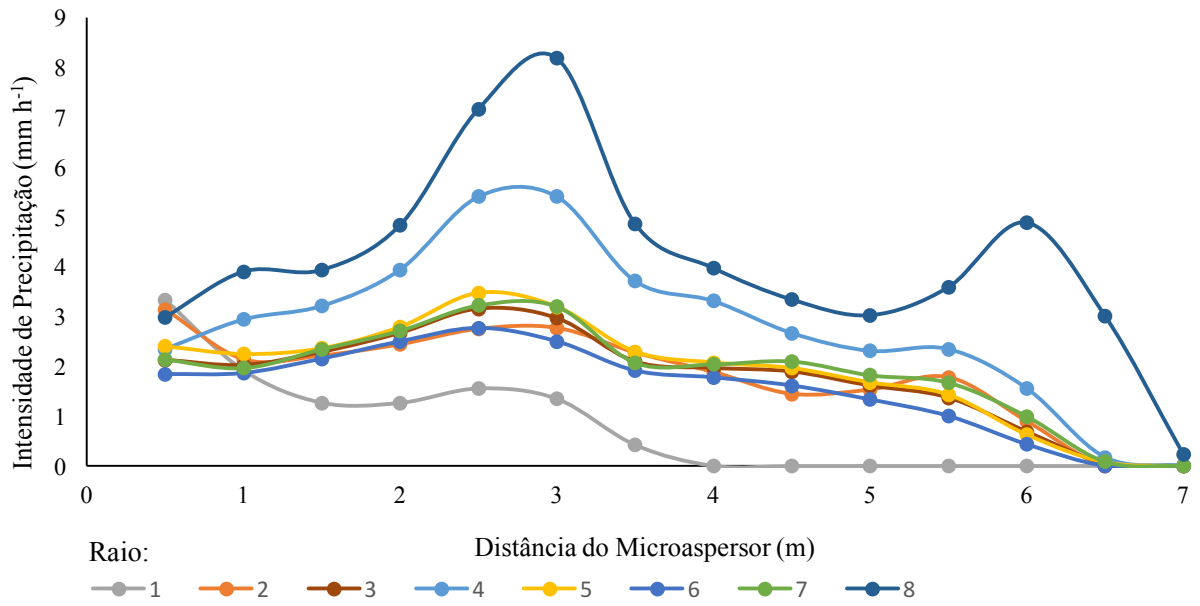
Fonte: Do autor (2020).

4.3 Uniformidade de distribuição de água

A Figura 7 está representando o perfil de distribuição de água, no qual se verifica a intensidade de precipitação média próximo ao microaspersor, elevação da concentração a distância de 2,0 m e posteriormente diminuição a medida que se distancia da região de maior lâmina. A intensidade de precipitação máxima de $3,7 \text{ mm h}^{-1}$ encontra-se a 3,0 m do emissor,

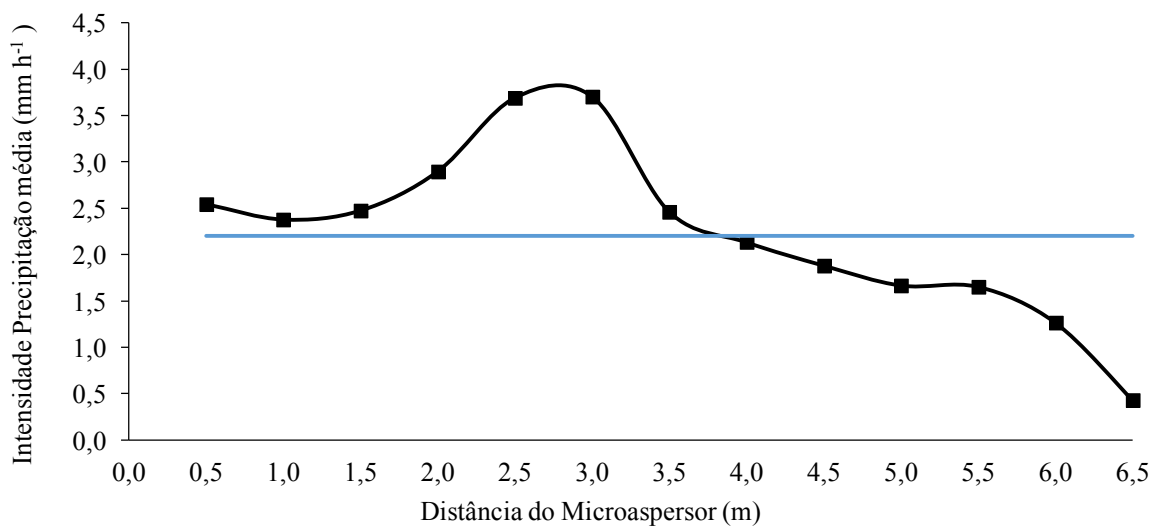
enquanto a mínima foi de 0,4 mm h⁻¹ a 6,5 m de distância do emissor. O microaspersor ensaiado apresentou um perfil de distribuição em que o raio de alcance médio, para pressão de 150 kPa, atingiu a marca de 6,5 m.

Figura 7 - Perfil de distribuição de água dos oito raios coletados do microaspersor Implebrás 330 L h⁻¹, operando em condições de laboratório sob pressão de 150 kPa.



Fonte: Do autor (2020).

Figura 8 - Perfil médio de distribuição de água e lâmina média do microaspersor Implebrás 330 L h⁻¹, operando em condições de laboratório sob pressão de 150 kPa.



Fonte: Do autor (2020).

A intensidade de precipitação média ao longo do raio efetivo foi igual a $2,2 \text{ mm h}^{-1}$, considerando como raio efetivo aquele correspondente à distância do emissor ao último coletor que apresentava, no mínimo, 10% da precipitação média, compreendendo a faixa de 0,5 m a 6,5 m (FIGURA 8).

Os resultados encontrados por Sampaio et. al (1996), variaram de $2,0 \text{ mm h}^{-1}$ a $7,0 \text{ mm h}^{-1}$ para microaspersores giratórios Naan 710 sob diferentes pressões de trabalho, com raio de alcance de até 4,5 m. Já Martins et. al (2015), estudando o microaspersor MC-20 Agropolo observou que para todas as pressões estudadas houve grande amplitude de precipitação entre a haste do microaspersor e o coletor disposto a 0,5 m da base, diferindo do perfil encontrado no presente trabalho.

Na Tabela 5, pode-se analisar os valores médios de CUC, CUD e precipitação média para a disposição quadrangular com os espaçamentos simulados de 4x4; 5x5; 6x6; 7x7; 8x8 e 9x9 metros na pressão de trabalho de 150 kPa calculados pelo software SPACE Pro.

Tabela 5 - Coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) e coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), para diferentes espaçamentos a pressão de trabalho de 150kPa.

Espaçamento (m)	Intensidade de Precipitação Média (mm h^{-1})	CUC (%)	Classificação CUC	CUD (%)	Classificação CUD
4x4	17,0	95	Excelente	94	Excelente
5x5	10,9	93	Excelente	90	Excelente
6x6	7,5	85	Bom	81	Bom
7x7	5,5	84	Bom	72	Bom
8x8	4,2	83	Bom	69	Bom
9x9	3,4	84	Bom	74	Bom

Fonte: Do autor (2020).

Observa-se que a melhor uniformidade ocorreu no espaçamento 4,0 x 4,0 m (Tabela 5), além disso, verifica-se que houve redução no CUC e CUD com o aumento do espaçamento dos microaspersores, visto que a sobreposição entre os jatos dos emissores reduz, corroborando com os resultados encontrados por Holanda Filho et al. (2001) e Martins et al. (2015).

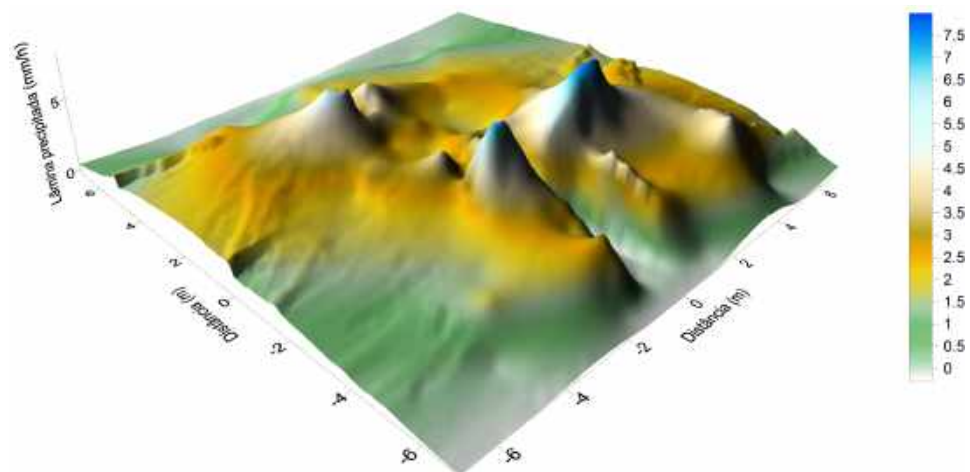
Espaçamentos de até 9,0 x 9,0 m, ainda proporcionem CUC superiores a 83%, sendo o valor mínimo admitido para irrigação localizada de 90% segundo Mantovani (2001) e de no mínimo 80%, segundo Bernardo (2005), para coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC). Dessa forma, analisando o CUC, o emissor está acima dos parâmetros aceitáveis em todos os espaçamentos quanto ao critério de classificação de Bernardo (2006) e para a

classificação de Mantovani (2001), somente os espaçamentos até 5,0 x 5,0 m estão em conformidade com o valor descrito como mínimo para a irrigação localizada.

Os resultados encontrados de CUC são maiores que os de CUD, semelhantes aos encontrados por Santos et. al. (2012), o que corrobora com o encontrado no experimento. Na pressão ensaiada, verifica-se que os valores de CUC e CUD são maiores em espaçamentos menores, assim como descrito por Faria et al. (2009) e Sandri et al. (2010).

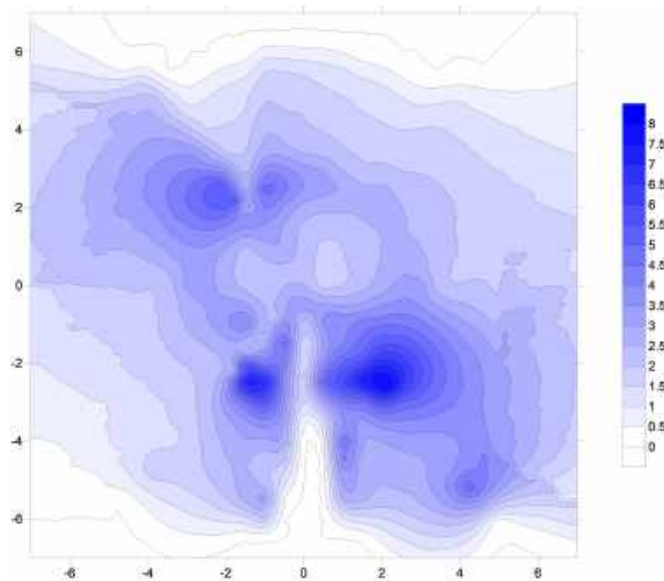
A Figura 8, mostra o perfil tridimensional da distribuição de água, já na Figura 9, o mapa das isoietas do microaspersor Implebrás, operando isoladamente a pressão de trabalho de 150 kPa. É possível analisar uma região de precipitação próxima a zero, explicada pela interferência da “ponte”, elemento estrutural do microaspersor, assim como as regiões a 2,5 m do emissor apresentaram elevadas precipitações devido ao jato de água que foi interceptado pela “ponte”, respingando diretamente nos coletores ao redor do mecanismo de sustentação do emissor.

Figura 9 - Perfil tridimensional do microaspersor Implebrás, sob pressão de trabalho de 150 kPa, em condição de laboratório.



Fonte: Do autor (2020)

Figura 10 – Mapa de isoietas do microaspersor Implebrás, sob pressão de trabalho de 150 kPa, em condição de laboratório.



Fonte: Do autor (2020)

Nascimento et al. (1999) observou, para o microaspersor RAIN-BIRD QN-14 operando a pressão de 150kPa, que o perfil de distribuição tridimensional e isoietas apresentaram regiões equivalentes com variação de concentrações de precipitação, caracterizando como perfil de distribuição bastante irregular, assim como o encontrado para o microaspersor Implebrás.

A baixa uniformidade na distribuição de água pelos emissores pode ocasionar excesso de água em determinadas áreas irrigadas consequentemente acarretando perdas na lavoura, e ocasionando escassez de água em outras áreas, sendo preciso o aumento da lâmina de irrigação com objetivo de melhorar a produtividade (ROCHA et al., 2001).

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos dos ensaios realizados a nível de laboratório, o microaspersor Implebrás apresentou as seguintes conclusões:

A vazão média foi de 321,28 L h⁻¹ a pressão de serviço de 150 kPa, apresentando variação de 2,7% inferior aos 330 L h⁻¹ informado pelo fabricante, contudo tal variação está em conformidade com a ABNT (2006).

O microaspersor apresenta CVf médio igual a 1,8%, sendo classificado como bom segundo a ABNT (1986) e como excelente segundo a ASAE (1994).

Caracterizado como fluxo turbulento o emissor resultou em uma equação característica com expoente “x” igual a 0,4854.

O microaspersor apresenta uma intensidade de precipitação média de 2,2 mm h⁻¹ com raio de alcance efetivo entre 0,5 a 6,5 m da instalação.

Os coeficientes de uniformidade de distribuição de água, foram classificados como excelente na disposição quadrangular de espaçamentos de até 5 x 5 m e como bom nas disposições entre 6 x 6 m a 9 x 9 m, segundo o critério de classificação de Mantovani (2001).

O perfil de distribuição de água apresentou maior concentração em um raio de 3,0 m do microaspersor.

O perfil de distribuição tridimensional, apresentou comportamento irregular destacando-se a região de baixa precipitação na faixa da estrutura de sustentação do microaspersor e regiões com alta precipitação que se formam ao redor dessa estrutura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Requisitos mínimos para elaboração de projeto de sistema de irrigação localizada**. São Paulo, ABNT, 1986, 8p. PNBR 12:02.08 – 022.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Irrigação localizada: microaspersores - requisitos gerais e métodos de ensaio**. PNBR 04:015.08 – 015. São Paulo, 2004, 11 p.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Equipamentos de irrigação agrícola – emissores e tubos emissores – especificação e métodos de ensaio**. NBR ISO 9261:2006. Rio de Janeiro, 2006, 17 p.

ANA - Agência Nacional de Águas. **Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada / Brasília**, 2017. 86 p.

ASAE. American Society Of Agricultural Engineers. **Design and installation of microirrigation system**. St. Joseph: ASAE EP405.1, 1994. p.724-727.

BERNADO, S. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: UFV, 2006. 625 p.

BORGHETTI, J. R.; SILVA, W. L. C.; NOCKO, H. R.; LOYOLA, L. N.; CHINCANA, G. K. **Agricultura Irrigada Sustentável no Brasil: Identificação de Áreas Prioritárias** – Brasília, 2017. 243 p

COSTA, M. 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.

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

CRIDDLE, W.D.; DAVIS, S.; PAIR, C.H. e SHOCKLEY, D.G. (1956) - **Methods for evaluating irrigation systems**. Washington, SCS-USDA, 24 p.

CUNHA, M. D.; CUNHA, M. L.; FREIRE, O. J. **Avaliação de desempenho do microaspersor Amanco 63 L h-1 em condições de campo**. Holos, v. 5, n. 26, 2010.

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.

FARIA, L.C.; COLOMBO, A.; OLIVEIRA, H.F.E. e PRADO, G. (2009) - **Simulação da uniformidade da irrigação de sistemas convencionais de aspersão operando sob diferentes condições de vento**. Engenharia Agrícola, vol. 29, n. 1, p. 19-27.

FRIZZONE, J. A. **Os Métodos de Irrigação**. Notas de Aula da disciplina LEB 1571 – Irrigação. Departamento de Engenharia de Biosistemas, ESALQ/USP. 2017. Piracicaba – SP. 32p.

GILAAD Y.; KRYSTAL, L.; ZANKER, K. **Hidráulic and mechanical properties of drippers**. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2., 1974, San Diego, CA. Proceedings... Riverside: University of California/SSAE, 1974. p. 311-316.

HOLANDA FILHO, R. S. F. de; PORTO FILHO, F. de Q.; MIRANDA, N. de O. e MEDEIROS, J. F. de. (2001) - **Caracterização hidráulica do microaspersor Rondo, da Plastro**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 5, n. 1, p. 16-21.

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

KELLER, J.; KARMELI, D. **Trickle irrigation design parameters**. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.17, n.4, p.878-880, 1974.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA: Programa de avaliação da irrigação por aspersão e localizada**. Viçosa: UFV, 2001.

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

OLIVEIRA, J.J.P. de.; VILLAS BOAS, L. C; KAIMOTO, L.S.A. **Controle racional de um sistema de irrigação localizada conceitos e resultados**. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 8, 1988, Florianópolis, SC. Anais... Florianópolis: ABID, 1988. v. 1, p. 23-40.

MARTINS, P. E. S.; SILVA, E. R.; SANTANA, J. G.; NETO J. A.; Zanini, J. R. **Uniformidade de distribuição de água do microaspersor MC-20**. Revista de Ciências Agrárias vol.38 no.1 Lisboa mar. 2015.

NASCIMENTO, T.; SOARES, J.M.; AZEVEDO, C. A.V. de. **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.

OLITTA, A.F.L. **Os métodos de irrigação**. São Paulo: Livraria Nobel, 1987. 287p.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia - goteo - microaspersion – exudacion**. Madri: Ed. Mundi 1986, p. 207-215.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia: Goteo, microaspersion, exudacion**. 2. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1990. 461p.

PRADO, G.; COLOMBO, A. **Análise da uniformidade de aplicação de água pelo aspersor plona-rl250 em sistemas autopropelidos de irrigação**. Irriga, Botucatu, v. 12, n. 2, p.249-262, abr. 2007.

ROCHA, F. A.; CÉSAR, J. H. F.; MELLO, C. R.; ROCHA, F. S.; PEREIRA, G. M. **Caracterização hidráulica de três modelos do miniaspensor Mamkad autocompensante**. In: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 6-9, 2001.

SAMPAIO, S.C.; VILELA, L.A.A.; DIAS, J.A.A.; FARIA, M.A. de. **Características hidráulicas e da distribuição de água do microaspensor NAAN 7110**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v.20, n.1, p.70-78, 1996.

SANDRI, D.; MESQUITA, M.; BESSA, K.S.E. e PRADO, L.C.R.A. (2010) - **Influência do tempo de uso sobre as características hidráulicas do microaspensor do grupo modulo**. Engenharia Agrícola, vol. 30, n. 6, p. 1089-1100.

SANTOS.D.A de O; FREIRE.F.G.C; SANTOS.F.S.S. dos; SANTOS. M.M.S. dos; LIMA.R.M de S; SANTOS.W.O. **Avaliação da uniformidade de aplicação de água na irrigação por microaspersão na cultura da banana em São João do Jaguaribe-CE**. Inovagri International Meenting, Fortaleza-CE 2012.

SIQUEIRA, E. C.; BARROS JÚNIOR, G. **Determinação do coeficiente de variação e vazão do microaspensor 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.

SILVA, A. P. **Manual de Irrigação Localizada**. Fortaleza, DNOCS, 1989. 57p.

SILVA, E. M. da.; AZEVEDO, J. A. de; LIMA, J. E. F. W. **Análise de desempenho da irrigação**. – Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2002. 84 p.

SILVA, R. A.; SILVA, A. M. **Avaliação das características hidráulicas do microdifusor autocompesante Dan Jet 7200**. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 27, n. 4, p. 873-878, 2003.

SILVA, C. A.; SILVA, C. J. **Avaliação de uniformidade em sistemas de irrigação localizada**. Revista Científica Eletrônica de Agronomia, Garça, v. 6, n. 8, p.1-17, dez. 2005.

SOARES, C. A. **Caracterização hidráulica do microaspensor Eden Twister em posição normal e invertida**. Jaboticabal, 2013. 57 p.

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

TESTEZLAF, R. **Irrigação: métodos, sistemas e aplicações**. Campinas, SP.: Unicamp/FEAGRI, 2017. e-book 215p.

VERMEIREN, I. & JOBLING, G. A. **Localized irrigation**. Roma, FAO, 1980. 203p.

SURFER - Golden Software, Inc. version 8.0. Golden, Colorado. 2002.

SPACE PRO - **Sprinkler Profile And Coverage Evaluation Pro**, version 3.5. Center for Irrigation Technology 1987-2012.