

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DO MICROASPELOR AMANCO EM BANCADA DE TESTES.

Helton Rogério Mazzer¹; Talita Aparecida Pletsch²; Raimundo Leite Cruz²; Márcio A. Vilas Boas³; Érika Fabiana de Oliveira²

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, PR, hmazzer@utfpr.edu.br

² Departamento de Engenharia Rural, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP

³ Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade do Centro-Oeste, UNIOESTE, Cascavel, PR

1 RESUMO

A necessidade do uso consciente de água aliado com o fornecimento de alimento para uma população crescente vem trazendo desenvolvimento e pesquisas contínuas na área de irrigação. Surgem com isso, modelos de irrigação (sistemas e formas de aplicação) que aliam a eficiência com o baixo custo de material e tais materiais, apesar de possuírem dados técnicos fornecidos pelos fabricantes, necessitam de testes para verificação do seu funcionamento dentro de um sistema de aplicação e uniformidade de distribuição de água dentro do mesmo. Os estudos em relação à uniformidade, e dos materiais empregados no mercado tornam-se uma obrigatoriedade para a implantação de um projeto eficiente. Além da uniformidade, estudos de distribuição de fluxo em sistemas variados vêm mostrando que novos modelos devem ser testados para uma maior eficiência. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é de analisar o Coeficiente de variação de fabricação do microaspersor Amanco MF (bocal verde claro de 1,0mm) em bancada de teste desenvolvida no laboratório de Irrigação da UNESP – FCA campus de Botucatu-SP. Foram utilizados 25 microaspersores para os testes dispostos de maneira seqüencial na bancada e testados três sistemas diferentes de fluxo. Os sistemas utilizados de fluxo foram: o sistema Tipo Serpentina, que são tubos ligados em série, o Tipo Linha Lateral, o mais usual na irrigação que dispõe de linhas secundárias alimentadas por uma principal e o Tipo Malha, utilizado no abastecimento de água urbano. Os resultados demonstraram que o CVf de 4,17% está dentro da faixa de boa qualidade segundo as normas técnicas, e que o sistema Tipo Malha e Tipo Linha Lateral se assemelham em relação às vazões coletadas em cada um deles, dentro da bancada, considerando ainda que o Tipo Malha possui as maiores médias de vazão e menor faixa de variação.

UNITERMOS: Irrigação por microaspersão, coeficiente de variação de fabricação, sistemas de distribuição, bancada de testes.

MAZZER, H. R.; PLETSCHE, T. A.; CRUZ, R. L.; VILAS BOAS, M. A.; OLIVEIRA, E. F. EVALUATION OF AN AMANCO MICROSPRINKLER PERFORMANCE IN A TESTING BENCH.

2 ABSTRACT

The need for a rational use of water and supply of food for a growing world population have led to the development of research in the area of irrigation systems. Thus,

some irrigation systems which join efficiency with low cost of material have been developed. Although some technical characteristics are provided by the manufacturers, tests are required to verify functioning of the system and uniformity of water distribution. Continuous research on uniformity, characteristics of the materials and design of water distribution systems is essential for system improvement. Therefore, the objective of this work was to evaluate the CV (manufacturer's coefficient of variation) of Amanco microsprinkler (1.0 mm light green nipple) using bench testing in the laboratory of Irrigation at UNESP – FCA campus of Botucatu-SP. Twenty-five microsprinklers in a sequential design were used in the tests. Three flow systems were tested as follows: a Coil system based on serial connected pipes; a Lateral system, the most common system in which secondary lines are fed by a main line; and a Mesh system used in the urban water supply. The results showed that 4.17% CVf met the production standards and the Lateral and Mesh systems were similar regarding outflow using bench testing. The Mesh system presented the highest mean value of outflow and the lowest range of variation.

KEY WORDS: microsprinklers, manufacturer's coefficient of variation, system of distribution, bench testing.

3 INTRODUÇÃO

Um dos problemas emergentes devido ao crescimento populacional é a demanda por alimentos e a necessidade de tornar produtivas áreas até então não disponíveis ou inférteis. Essa necessidade, além de tornar produtivas as áreas áridas e semiáridas do globo, bem como complementar as necessidades hídricas das regiões e o uso de fertilizantes de maneira pontual, vem impulsionando o uso da irrigação a fim de usar com maior intensidade o solo agricultável, suprimindo assim a demanda por alimentos da crescente população mundial.

A prática de irrigação, quando adequadamente empregada, torna-se um eficiente instrumento no aumento de produtividade. Para esse perfeito emprego, um bom sistema de irrigação deve aplicar água de maneira uniforme, proporcionando umidade ao solo, suficiente para o crescimento necessário de plantas.

A uniformidade de distribuição pode ser utilizada tanto para fins de dimensionamento do sistema como para sua avaliação no campo. No caso de dimensionamento, ao contrário da avaliação de campo, a uniformidade é uma condição imposta; quanto mais alta a uniformidade, mais oneroso fica o sistema, já que é necessário maior diâmetro de tubulação, laterais mais curtas e maior investimento em reguladores de pressão (Pizarro, 1990).

No sistema de irrigação localizada, que vem sendo a mais utilizada devido ao baixo consumo de água, a uniformidade de aplicação d'água, ao longo da linha lateral está intimamente relacionada com a variação de vazão dos emissores, a qual é uma consequência das perdas de energia pelo atrito e pelas inserções dos emissores, com o ganho ou perda de energia devido à topografia da superfície do solo, e com a qualidade da matéria-prima e dos processos de fabricação dos emissores (Keller & Karmeli, 1974).

Trabalhos apresentados com microaspersores vêm demonstrando eficiência e coeficientes de uniformidades condizentes com os estabelecidos em normas técnicas. Para a manutenção da garantia dessa uniformidade são necessários ensaios que garantam a qualidade do produto fabricado e sua homogeneidade de fabricação.

Em vista disso, a norma brasileira (NBR 15084) solicita que o ensaio do CVf (coeficiente de variação de fabricação) seja realizado para avaliar o lote de microaspersores utilizados no projeto.

O coeficiente de variação de fabricação (CVf), é uma medida estatística que avalia a variação do processo de fabricação dos emissores. É utilizado também para avaliar a variação de fluxo do emissor ao longo de uma linha lateral de irrigação localizada. Apesar de ser impossível a fabricação de um grupo de emissores com a mesma vazão, a variação resultante do processo de fabricação normalmente tende a distribuir-se em torno de um valor médio (Keller & Karmeli, 1974).

De acordo com Solomon (1979), o coeficiente de variação de fabricação 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 (1):

$$CVF = 100 \sqrt{\frac{(q_1 - q_m)^2 + (q_2 - q_m)^2 + \dots + (q_n - q_m)^2}{n - 1}} \quad (1)$$

em que:

CVf - coeficiente de variação de fabricação (%)

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

q_m - vazão média dos emissores em $L h^{-1}$

n - número de emissores do lote de amostragem.

Solomon (1979) classifica os emissores, quanto à uniformidade, da seguinte maneira: nos de CVf até 0,03, a uniformidade é excelente; de 0,04 a 0,07, é média; de 0,08 a 0,1, é marginal; de 0,11 a 0,14 é pobre e, acima de 0,15, é inaceitável, enquanto para a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) (1986), os de CVf inferior a 10% têm uniformidade boa; de 10 a 20% é média; de 20 a 30% é marginal e superior a 30% é inaceitável.

Além da qualidade do aparelho, os projetos também interferem em uma melhor distribuição e uniformidade de água. Os projetos de irrigação localizada podem ter vários modelos e traçados, dependendo de variáveis como perfil do terreno, emissor utilizado, demanda hídrica, ponto de fornecimento de água, tipo do conjunto moto-bomba e ainda associado com número de setores e parcelas, diversidade no número de linhas laterais entre outros. Dessa maneira, o projeto fica totalmente dependente da capacidade do projetista em escolher um melhor traçado ou sistema que possa atender a demanda da melhor maneira possível.

Segundo Zella e Smadhi (2005), para uma micro-irrigação ter ótimos resultados, o design de sistemas deve ser baseado em cálculos precisos e rigorosos gerenciamentos. A precisão para cada microaspersor em linha lateral ou em rede é de fundamental importância ao sistema de operação, uniformidade, distribuição de água e fertilizante além do consumo de energia.

Allen e Brockway (1984) relatam que novos e antigos conceitos de melhoria no uso e na eficiência da irrigação e da maximização da receita devem ser utilizados no

dimensionamento de novos sistemas de irrigação com objetivo da redução do uso de energia e recursos hídricos. Porém, o benefício econômico é o maior critério para a aceitabilidade das alterações no dimensionamento e no manejo da irrigação.

O conceito de ligação de aparelhos sobre uma única tubulação em série (Tipo Serpentina) apesar de ser simples seu processo de instalação, causa ao longo do trecho uma perda de carga muito grande, tendo seus valores de velocidade e vazão diminuídos ao longo do trecho, trazendo uma desuniformidade ao sistema implantado.

O método mais utilizado é de distribuição em Linhas Laterais, nas quais existe uma linha principal que alimenta as linhas secundárias ou laterais, levando fluido ao seu destino final.

Um modelo diferente foi testado utilizando a distribuição em malha, na qual a distribuição se baseia em levar o fluido por várias linhas interligadas. Este sistema é amplamente utilizado em sistemas de distribuição de água fria em casas, por ser uma maneira segura e mesmo que houver problemas com um ponto da rede, o resto da rede não será totalmente inutilizada.

Assim sendo, foram considerados para este estudo os três modelos descritos: Serpentina, Linha Lateral e Malha, para verificação de melhores resultados de uniformidade e vazão para um sistema de irrigação, e analisado o CVf do microaspersor em estudo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho analisou o microaspersor Amanco MF (bocal verde claro de 1,0mm) com vazão de 50 Lh^{-1} para uma pressão de 250 kPa, conforme especificação da fábrica, devido a ser um microaspersor amplamente utilizado no mercado e a vazão corresponder à maior parcela de venda da fábrica.

O ensaio foi realizado no laboratório de Irrigação e Drenagem da FCA – UNESP, Botucatu-SP. em uma bancada de testes para microaspersores, projetada e construída pelo Prof. Raimundo Leite Cruz (Figura 1).

Foram coletados 50 microaspersores não seqüenciais dentro de um lote de mais de 500 unidades, como prevê a norma. Deste total, foram utilizados 25 dos mesmos e dispostos na bancada.

Foram admitidas as pressões de 300, 250, 200 e 150 kPa, e coletada a água em recipiente de 20L, com as cargas devidamente pesadas em balança digital. Convertem-se os pesos em valores de volume de água, divididos pelo tempo gasto. Desta maneira, foi determinada a vazão de cada emissor para cada pressão ensaiada.

A determinação da curva característica de cada microaspersor e a equação da mesma para os cálculos do CVf foi realizada, tendo os valores coletados nas devidas pressões e verificados através de distribuição normal, e R^2 para cada equação de emissor ensaiado.

A comparação entre os sistemas testados (Serpentina, Linha Lateral e Malha) foi realizada utilizando a pressão recomendada pelo fabricante de 250 kPa.

Os sistemas foram testados na mesma bancada que permite a mudança de sentido de fluxo com comandos de válvulas de esfera, demonstrados nas Figuras 1, 2, 3 e 4.



Figura 1. Bancada de testes do laboratório de Irrigação e Drenagem da FCA.

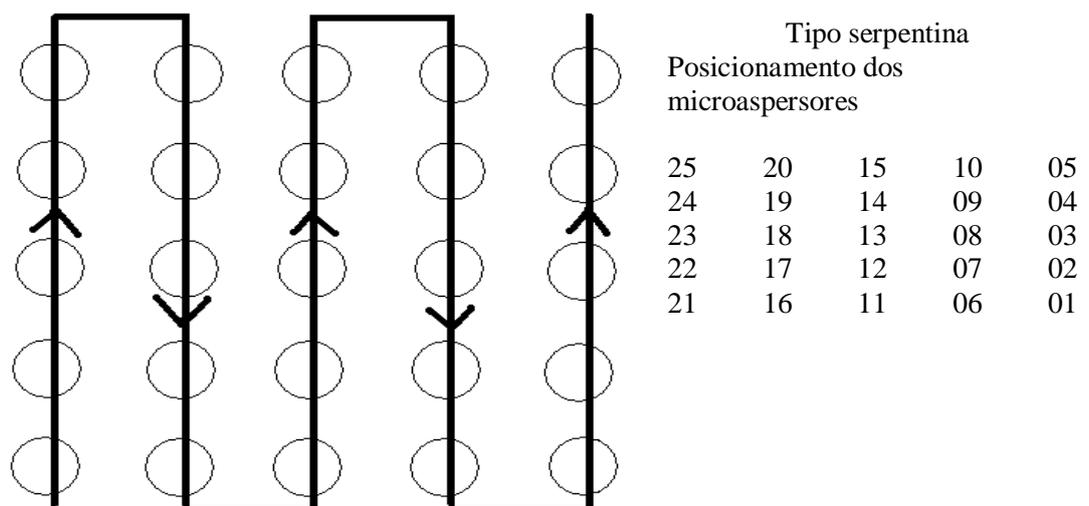


Figura 2. Esquema de disposição dos microaspersores e sentido do fluxo da água na bancada Tipo Serpentina.

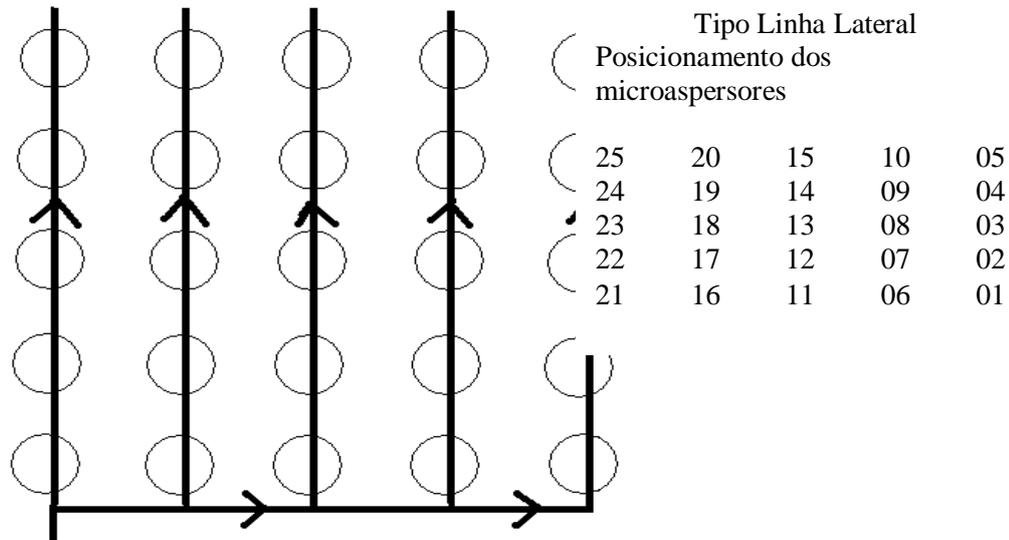


Figura 3. Esquema de disposição dos microaspersores e sentido do fluxo da água na bancada. Tipo Linha Lateral.

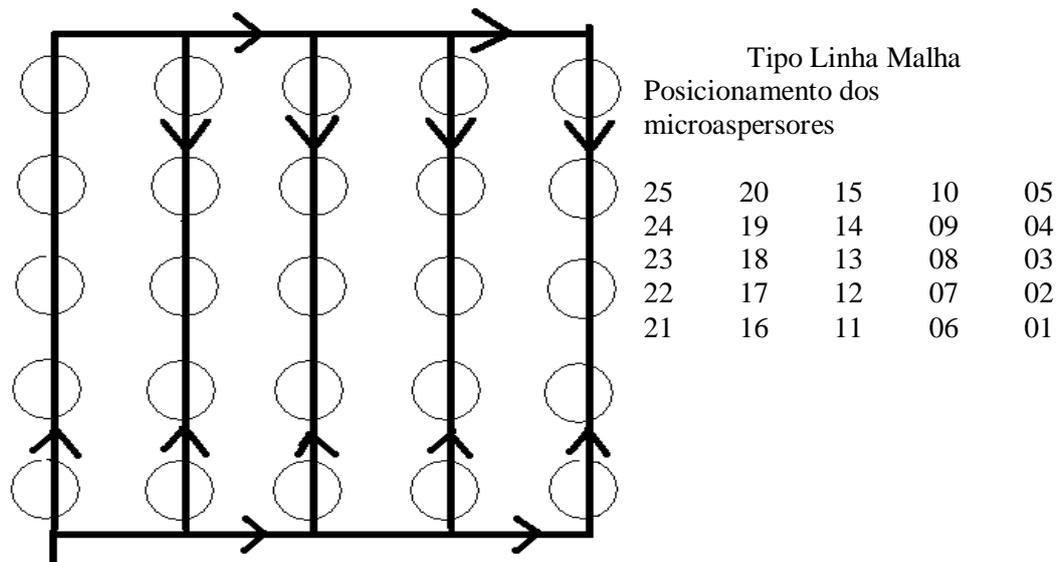


Figura 4. Esquema de disposição dos microaspersores e sentido do fluxo da água na bancada. Tipo Malha.

Os cálculos de perda de carga nos sistemas de distribuição em Serpentina e em Linha Lateral foram calculados por meio das fórmulas de Darcy-Weisbach (Equação 3), com a determinação do fator de atrito determinada por Swamee-Jain (Equação 4).

$$h_f = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (3)$$

Onde: h_f - perda carga ao longo do comprimento do tubo (m.c.a.);
 f - fator de atrito de Darcy-Weisbach (adimensional);
 L - comprimento do tubo (m);
 V - velocidade do líquido no interior do tubo (m/s);
 D - diâmetro interno do tubo (m);
 g - aceleração da gravidade local (m/s²).

Foram feitas as seguintes considerações:

- o comprimento das tubulações eram variáveis conforme o trecho percorrido;
- as perdas localizadas em cada trecho;
- a velocidade do líquido no interior da tubulação (divisão da vazão de fluxo sobre a área de seção interna da tubulação);
- o diâmetro interno da tubulação de 0,0209 m;
- a aceleração da gravidade no local de teste, aproximadamente 9,8 m/s².
-

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log_{10} \left[\frac{k}{3,7D} + \left(\frac{7}{\text{Re}} \right)^{0,9} \right] \quad (4).$$

Onde : k = rugosidade equivalente da parede do tubo (m);
 Re = número de Reynolds (adimensional).

Considerando-se para os cálculos que a rugosidade relativa do PVC 0,00001m e Re para cada vazão em cada parte do sistema, caracterizou-se um regime turbulento.

Com os dados de perda de carga e pressão de entrada em cada microaspersor, foi possível determinar a pressão em cada emissor.

No sistema em malha, foi utilizado o software WaterCad 6.0, da empresa Haestad Methods, Inc. gentilmente cedido pela Companhia de abastecimento e saneamento do Paraná – SANEPAR. O software foi calibrado para que os valores de perda de carga obedecessem os mesmos parâmetros adotados para os sistemas de distribuição em Serpentina e em Linha Lateral.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o término da fase experimental, as médias dos valores obtidos foram dispostos em tabelas, a fim de serem realizados as análises correspondentes.

Os valores de vazão expressos aqui na Tabela 1, são valores retirados da média aritmética das cinco repetições realizadas, para cada pressão estipulada em cada microaspersor.

Tabela 1. Valores de pressão e vazão em cada bocal, da marca Amanco não compensante, para o teste Tipo Serpentina, conforme fluxo.

Emissores	Pressão							
	300 kPa		250 kPa		200 kPa		150 kPa	
	Q (L h ⁻¹)	P (kPa)	Q (L h ⁻¹)	P (kPa)	Q (L h ⁻¹)	P (kPa)	Q (L h ⁻¹)	P (kPa)
01	57,02	262,111	51,87	205,698	45,91	150,181	39,29	95,066
02	54,50	260,900	50,97	204,209	44,04	148,453	41,15	93,104
03	63,02	259,713	56,70	202,745	49,89	146,747	42,13	91,163
04	60,72	258,553	54,20	201,307	48,6	145,067	41,37	89,245
05	59,83	257,419	53,41	199,894	48,59	143,411	41,41	87,348
06	60,95	264,480	53,84	208,600	48,88	153,537	40,87	98,869
07	58,39	265,743	52,47	210,140	47,06	155,313	40,42	100,875
08	66,63	267,032	55,25	211,705	49,65	157,114	42,11	102,902
09	61,43	268,350	55,78	213,297	48,02	158,940	40,77	104,953
10	58,64	269,697	52,51	214,917	46,68	160,792	39,90	107,026
11	56,15	278,120	53,37	224,924	48,63	172,144	41,24	119,651
12	65,58	276,625	56,86	223,169	49,96	170,166	40,64	117,464
13	75,22	275,161	51,99	221,443	46,94	168,214	41,64	115,300
14	57,46	273,732	52,77	219,744	47,65	166,288	40,98	113,160
15	61,35	272,330	54,87	218,071	48,04	164,387	40,99	111,042
16	77,26	281,038	54,34	228,340	48,07	175,986	41,04	123,886
17	62,18	282,598	56,43	230,150	50,04	178,017	42,83	126,119
18	64,09	284,188	57,00	231,990	50,46	180,075	43,04	128,376
19	60,89	285,809	54,13	233,859	48,32	182,160	41,59	130,658
20	58,30	287,461	52,13	235,757	46,90	184,273	40,38	132,964
21	62,67	297,740	55,63	247,458	50,18	197,211	43,07	146,998
22	66,85	295,923	59,37	245,408	51,82	194,957	44,19	144,567
23	73,11	294,141	57,02	243,391	51,16	192,733	43,97	142,161
24	61,93	292,360	55,58	241,404	50,00	190,538	43,11	139,782
25	64,41	290,682	57,97	239,448	51,53	188,371	44,01	137,428

Para a averiguação da veracidade dos dados e a representação que eles seguiam uma tendência foi estudada a normalidade conjunta dos dados. Um método mais formal para julgar a normalidade conjunta de dados multivariados é baseado no “quadrado da distância generalizada”.

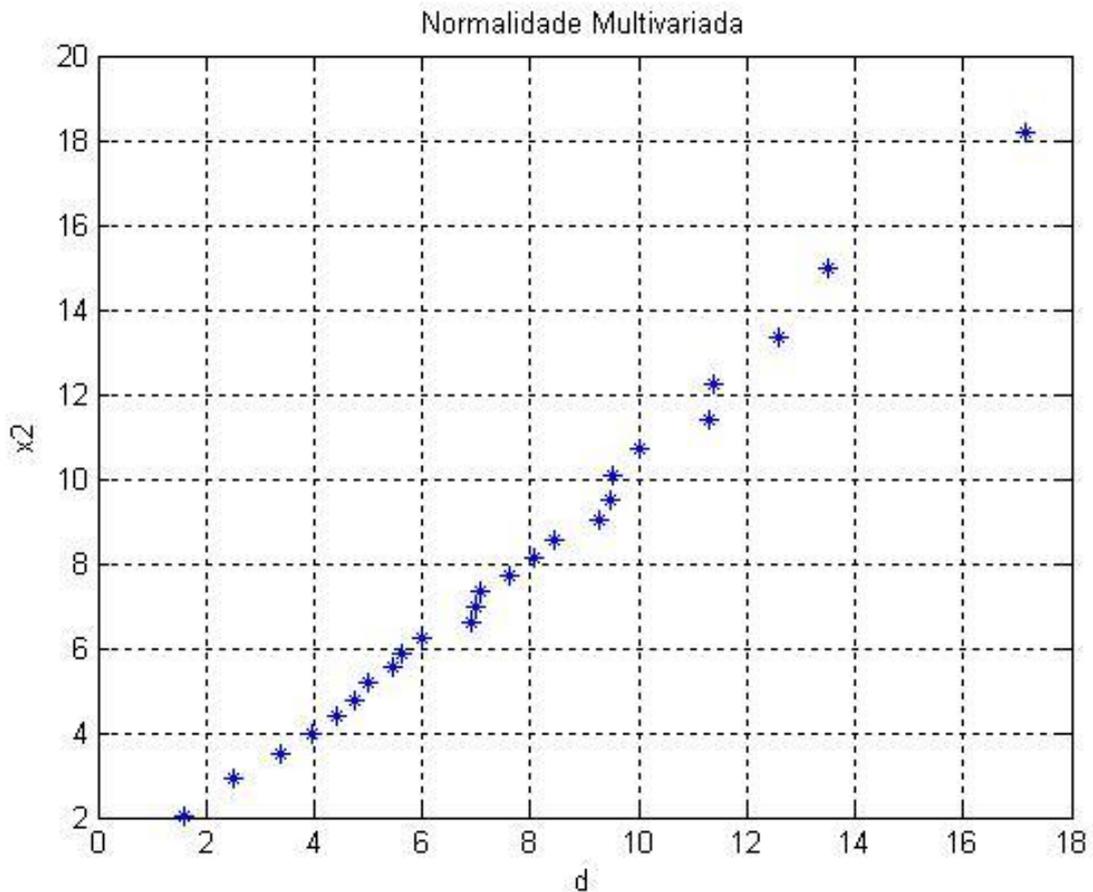


Gráfico 1. Distribuição da normalidade multivariada para os dados retirados do microaspersor Amanco não compensante.

O gráfico obtido para a verificação de normalidade apresenta tendência de reta dentro de uma significância de 95%, verificando desta maneira que a distribuição é normal, e que a disposição dos dados segue uma tendência.

Para o cálculo do Coeficiente de variação uniforme, foi necessário descobrir qual a vazão na pressão de trabalho especificada pelo fabricante. Com isso, trabalhou-se com uma curva de tendência dos dados obtidos nas tabelas anteriores e levantou-se a análise de regressão para verificação de comprovação da equação.

Os Valores obtidos na Tabela 2, para y e x em todos os microaspersores correspondem aos índices da equação potencial, do tipo:

$$Q = yP^x \quad (5)$$

Onde:

Q é a vazão do microaspersor em $L h^{-1}$.

P é a pressão disponível na entrada do microaspersor em kPa.

Tabela 2. Valores de x e y pertencentes à equação de caracterização da curva de cada microaspersor Amanco e os respectivos valores de R² encontrados para o Tipo Serpentina.

Emissor	y	x	R ²	Vazão na pressão de 250kPa (L h ⁻¹)
01	3,1504	0,3673	99,87%	55,7736
02	5,822	0,283	94,87%	53,2953
03	3,0741	0,3833	99,83%	61,6806
04	3,6898	0,3549	99,54%	59,2832
05	4,3408	0,3324	99,37%	58,4851
06	2,6649	0,3957	99,39%	58,9177
07	3,0014	0,3752	99,70%	56,5238
08	1,7063	0,4597	96,66%	62,2427
09	1,8756	0,4418	99,73%	59,4771
10	2,2266	0,413	99,75%	56,3627
11	3,0376	0,3698	98,43%	54,8389
12	0,8367	0,5491	99,72%	61,4297
13	3,2288	0,3616	99,54%	54,6684
14	2,8081	0,3814	99,98%	55,5120
15	1,7519	0,4486	99,74%	58,5902
16	1,3147	0,4824	99,75%	57,2787
17	1,5793	0,462	99,99%	58,6561
18	1,2241	0,4967	99,80%	59,6450
19	1,3117	0,481	99,65%	56,5254
20	1,372	0,4698	99,74%	54,1635
21	0,9554	0,5219	99,64%	56,6983
22	0,6613	0,5767	99,84%	60,2546
23	1,1962	0,4964	99,92%	58,1489
24	1,2819	0,4851	99,83%	57,0420
25	1,1364	0,5059	99,96%	59,5044

Com os dados obtidos da vazão dos microaspersores sob a pressão de 250 kPa, obteve-se o CVf do microaspersor Amanco de 4,13%, com vazão média de 57,80 Lh⁻¹, sob uma pressão de 250kPa.

O valor encontrado se enquadra dentro da classificação como “boa qualidade ” da ABNT.

Para a verificação de melhor sistema utilizado, foi composta a Tabela 3 onde estão dispostos os valores de vazão de cada emissor em Lh⁻¹, comparando três tipos de fluxos diferentes, com a pressão inicial do sistema em 250 kPa.

Tabela 3. Valores de pressão e vazão em cada emissor, da marca Amanco não compensante, para o teste em todos os sistemas com pressão inicial de 250kPa, e a totalização da vazão do sistema.

Emissor	Pressão inicial de 250 kPa					
	Tipo Serpentina		Tipo Linha Lateral		Tipo Malha	
	Vazão L h ⁻¹	Pressão kPa	Vazão L h ⁻¹	Pressão kPa	Vazão L h ⁻¹	Pressão kPa
01	51,870	205,698	53,840	243,912	54,950	240,610
02	50,970	204,209	55,100	242,427	57,500	240,290
03	56,700	202,745	56,720	240,967	60,050	239,990
04	54,200	201,307	55,570	239,534	57,240	239,710
05	53,410	199,894	55,850	238,128	57,100	239,450
06	53,840	208,600	55,400	243,420	56,860	241,050
07	52,470	210,140	53,920	241,802	54,930	240,960
08	55,250	211,705	56,720	240,211	57,880	240,880
09	55,780	213,297	54,550	238,647	55,460	240,820
10	52,510	214,917	53,150	237,111	54,170	240,760
11	53,370	224,924	54,100	243,715	55,930	241,830
12	56,860	223,169	54,080	241,961	55,940	241,790
13	51,990	221,443	53,300	240,235	53,750	241,750
14	52,770	219,744	54,290	238,535	54,700	241,730
15	54,870	218,071	54,110	236,863	55,280	241,700
16	54,340	228,340	54,520	244,598	54,980	242,920
17	56,430	230,150	56,040	242,702	55,510	242,790
18	57,000	231,990	56,830	240,835	56,790	242,680
19	54,130	233,859	53,820	238,997	54,170	242,580
20	52,130	235,757	53,630	237,188	53,760	242,490
21	55,630	247,458	56,400	247,458	55,870	244,740
22	59,370	245,408	57,450	245,409	56,490	244,270
23	57,020	243,391	58,050	243,391	57,520	243,820
24	55,580	241,404	56,540	241,404	56,390	243,390
25	57,970	239,448	57,420	239,448	57,540	242,990
Totalização	1366,5		1381,4		1400,8	
CVf	4,13%		2,78%		2,85%	

Os valores encontrados na Tabela 3 apresentam que o sistema Tipo Malha se tornou o mais eficaz tanto em relação à uniformidade das vazões, quanto ao volume maior distribuído.

6 CONCLUSÕES

O CVf do microaspersor Amanco foi de 4,13% no Tipo Serpentina considerado o menos favorável, classificado com de boa qualidade pela norma brasileira (NBR 15084).

Dentre os sistemas testados, ficou caracterizado que o sistema tipo Malha possui os maiores valores individuais de vazão e uma melhor uniformidade de distribuição de pressão.

As perdas de carga oriundas da tubulação e conexões são insignificantes comparadas com a perda de carga ocasionada na saída de vazão de cada microaspersor dentro deste experimento.

Foi possível analisar a variação de fabricação dos emissores por meio de uma análise realizada nas equações potenciais de cada emissor.

As equações potenciais ajustadas para cada microaspersor tiveram R^2 acima de 90%.

7 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq, SANEPAR, à Faculdade de Ciências Agrônomicas-UNESP .

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Emissores para sistema de irrigação localizada: avaliação de características operacionais:** projeto 12:02.08.21. São Paulo, 1986. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Irrigação localizada – microaspersores – requisitos gerais e método de ensaio:** NBR 15084. São Paulo, 2005. 6 p.

ALLEN, R. G.; BROCKWAY C. E. Concepts for energy-efficient irrigation system design. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, Reston, v. 110, n. 2, p. 99-106, 1984.

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

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

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

ZELLA, L.; SMADHI, D. Analysis and design of a microirrigation lateral. **Journal Central European Agriculture**, Zagreb, v. 7, n. 1 p. 57- 62. 2006.