

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MICROASPERSORES EM
BANCADA DE ENSAIO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
APLICAÇÃO.**

HELTON ROGÉRIO MAZZER

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Campus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Irrigação e
Drenagem)

BOTUCATU-SP
Outubro – 2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA
FILHO” FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MICROASPERSORES EM
BANCADA DE ENSAIO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE
APLICAÇÃO.**

HELTON ROGÉRIO MAZZER

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da Unesp - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de
Doutor em Agronomia (Irrigação e
Drenagem)

BOTUCATU-SP
Outubro – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E
TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

M477a Mazzer, Helton Rogério , 1969-
Avaliação do desempenho de microaspersores em bancada
de ensaio sob diferentes sistemas de aplicação / Helton
Rogério Mazzer. - Botucatu : [s.n.], 2006.
viii, 55 f. : il., color., gráfs, tabs.

Tese (Doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Facul-
dade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2006

Orientador: Raimundo Leite Cruz

Inclui bibliografia

1. Microaspersão. 2. Avaliação. 3. Vazão. 4. CVf (Coefici-
ente de variação de fabricação). I. Cruz, Raimundo Leite.
II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Fi-
lho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômi-
cas. III. Título.


UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE MICROASPERSORES EM BANCADA
DE ENSAIO SOB DIFERENTES SISTEMAS DE APLICAÇÃO.

ALUNO: HELTON ROGERIO MAZZER

ORIENTADOR: PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ

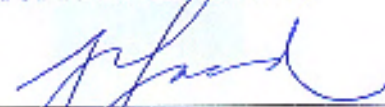
Aprovado pela Comissão Examinadora



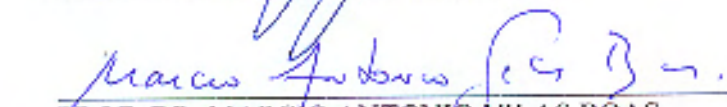
PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ



PROF. DR. ANTONIO EVALDO KLAR



PROF. DR. JOÃO CARLOS CURY SAAD



PROF. DR. MARCIO ANTONIO VILAS BOAS



PROF. DR. JARBAS HONORIO DE MIRANDA

Data da Realização: 10 de novembro de 2006.

Agradecimentos

A Deus pela vida e pelas graças alcançadas;

Aos meus pais Jair e Leonor e minha irmã Helen, pela minha formação, apoio e ajuda durante toda a minha vida;

A Talita pelo companheirismo, compreensão, dedicação, ajuda e amor;

Ao professor Dr. Raimundo Leite Cruz, por toda orientação, confiança e amizade durante o curso;

Ao Departamento de Engenharia Rural pela acolhida e oportunidade da realização deste doutorado;

Aos funcionários do departamento de Engenharia Rural, que por muitas vezes ajudaram de maneira direta ou indireta no curso;

Ao CNPq, Ministério de Ciência e tecnologia, pela concessão da bolsa de estudos;

Aos professores João Saad, Klar, e Marcio Vilas Boas, pela amizade e ajuda;

Aos meus colegas de trabalho da UTFPr, que me apoiaram e ajudaram que isso pudesse se tornar realidade;

Aos meus amigos de pós-graduação, que fizeram parte da minha vida e se tornaram minha família em Botucatu;

As empresas Naandan, Azud, Amanco, Agrojet pela compreensão, colaboração e atendimento;

Enfim a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram pela realização de mais esse projeto em minha vida.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE GRÁFICOS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
1. RESUMO.....	01
2. SUMMARY.....	02
3. INTRODUÇÃO.....	03
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	05
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	13
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	25
6.1 Coleta de dados.....	25
6.2 Considerações finais.....	49
CONCLUSÃO.....	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	53

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Estrutura da bancada de testes para microaspersores.....	14
Figura 2. Projeto Final para a execução da bancada, com colocação de válvulas, campânulas e distâncias.....	15
Figura 3. Localização da ventosa do início do sistema (antes do manômetro e do registro de pressão).....	17
Figura 4. Localização da ventosa do fim do sistema (depois do manômetro e do registro de pressão).....	17
Figura 5. Microaspersor colocado na campânula para teste de variação de fabricação.....	18
Figura 6. Foto da bancada realizando ensaio com microaspersor Azud.....	18
Figura 7. Esquema de disposição dos microaspersores e sentido do fluxo da água na bancada Tipo Serpentina.....	20
Figura 8. Esquema de disposição dos microaspersores e sentido do fluxo da água na bancada Tipo Linha Lateral.....	21
Figura 9. Esquema de disposição dos microaspersores e sentido do fluxo da água na bancada Tipo Malha.....	21
Figura 10. Sistema de coleta da bancada de microaspersores.....	22
Figura 11. Válvula de dupla saída.....	23

LISTA DE GRÁFICOS

	Página
Gráfico 1. Distribuição da normalidade multivariada para os dados retirados do microaspersor Amanco não compensante.....	29
Gráfico 2. Distribuição da normalidade multivariada para os dados retirados do microaspersor Azud não compensante.....	30
Gráfico 3. Distribuição da normalidade multivariada para os dados retirados do microaspersor Naandan não compensante.....	30
Gráfico 4. Distribuição da normalidade multivariada para os dados retirados do microaspersor Naandan auto compensante.....	31
Gráfico 5. Vazões conforme o posicionamento dos emissores em cada tipo de sistema, para o microaspersor Amanco não compensante.....	38
Gráfico 6. Vazões conforme o posicionamento dos emissores em cada tipo de sistema, para o microaspersor Azud não compensante.....	40
Gráfico 7. Vazões conforme o posicionamento dos emissores em cada tipo de sistema, para o microaspersor Naandan não compensante.....	42
Gráfico 8. Vazões conforme o posicionamento dos emissores em cada tipo de sistema, para o microaspersor Naandan auto compensante.....	44
Gráfico 9. Pressões disponíveis nos bocais dos microaspersores para o teste no sistema Tipo Serpentina.....	47
Gráfico 10. Pressões disponíveis nos bocais dos microaspersores para o teste no sistema Tipo Linha Lateral.....	47
Gráfico 11. Pressões disponíveis nos bocais dos microaspersores para o teste no sistema Tipo Malha.....	48

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Modelos e marcas dos microaspersores com sua vazão e pressão de trabalho sugerido pelo fabricante.....	19
Tabela 2. Valores de pressão e vazão em cada bocal, da marca Amanco não compensante, para o teste Tipo Serpentina, conforme fluxo.....	25
Tabela 3. Valores de pressão e vazão em cada bocal, da marca Azud não compensante, para o teste Tipo Serpentina, conforme fluxo.....	26
Tabela 4. Valores de pressão e vazão em cada bocal, da marca Naandan auto compensante, para o teste Tipo Serpentina, conforme fluxo.....	27
Tabela 5. Valores de pressão e vazão em cada bocal, da marca Naandan não compensante, para o teste Tipo Serpentina, conforme fluxo.....	28
Tabela 6. Valores de x e y pertencentes a equação de caracterização da curva de cada microaspersor Amanco não compensante e os respectivos valores de R^2 encontrados.....	32
Tabela 7. Valores de x e y pertencentes a equação de caracterização da curva de cada microaspersor Azud não compensante e os respectivos valores de R^2 encontrados.....	33
Tabela 8. Valores de x e y pertencentes a equação de caracterização da curva de cada microaspersor Naandan não compensante e os respectivos valores de R^2 encontrados.....	34
Tabela 9. Valores de x e y pertencentes a equação de caracterização da curva de cada microaspersor Naandan auto compensante e os respectivos valores de R^2 encontrados.....	35
Tabela 10. Coeficiente de variação de fabricação (CVf), de cada marca de microaspersor, conforme a pressão de 250kPa e sua vazão média.....	36
Tabela 11. 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.....	37

Tabela 12. Valores de pressão e vazão em cada Emissor, da marca Azud não compensante, para o teste em todos os sistemas com pressão inicial de 250kPa, e a totalização da vazão do sistema.....	39
Tabela 13. Valores de pressão e vazão em cada Emissor, da marca Naandan não compensante, para o teste em todos os sistemas com pressão inicial de 250kPa, e a totalização da vazão do sistema.....	41
Tabela 14. Valores de pressão e vazão em cada Emissor, da marca Naandan auto compensante, para o teste em todos os sistemas com pressão inicial de 250kPa, e a totalização da vazão do sistema.....	43
Tabela 15. Resultados recolhidos do programa Minitab versão 7 para a hipótese de igualdade entre os sistemas.....	45
Tabela 16. Somatória das vazões de cada marca de microaspersor em cada sistema ..	48

1. Resumo

O presente trabalho teve como objetivo desenvolver uma bancada de ensaios para avaliar os microaspersores perante o coeficiente de variação de fabricação dos emissores e ensaiá-los em conformidade com a ABNT segundo o projeto 04:015.08-015 para microaspersores, e fornecer um parâmetro para cálculos de vazões em três sistemas (Tipo Serpentina, Tipo Linha Lateral e Tipo Malha) de irrigação, verificando inclusive a pressão dos emissores. A bancada foi desenvolvida no Laboratório de Irrigação e Drenagem da UNESP-FCA, em Botucatu-SP e foram utilizados quatro tipos de microaspersores (Amanco não compensante, bocal verde com vazão de 50 L h^{-1} ; Azud não compensante, bocal branco de 40 L h^{-1} , Naandan não compensante, bocal cinza de 41 L h^{-1} e Naandan auto compensante, bocal marrom de 35 L h^{-1}) para a determinação de perdas de carga em cada sistema e cálculo do coeficiente de variação de fabricação de cada um deles. Os resultados apontaram que todos eles estão classificados como bons 4,14%; 2,29%; 2,86%; e 2,84% respectivamente, segundo ABNT. Nessas condições experimentais o sistema que teve a melhor uniformidade de distribuição foi o sistema Tipo Malha, com semelhanças em relação ao sistema Tipo Linha Lateral.

STUDY TO EVALUATE OF MICRO SRINKLER IN TESTING BENCH AND IN DIFFERENT APPLICATION SYSTEM.

Botucatu, 2006. 62p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: HELTON ROGÉRIO MAZZER

Adviser: RAIMUNDO LEITE CRUZ

SUMMARY

This study was carried to evaluate some micro sprinklers in a testing bench to evaluate the “CVf” (Coeficiente de variação de fabricação), in accordance to project 04:015.08-015 of ABNT, for micro sprinkler, and simulate three different systems of design micro-irrigation (“Tipo Serpentina”, “Tipo Linha Lateral”, and “Tipo Malha”), to verify the pressure and outflow of micro-sprinkler in each test. This testing bench was developed in Irrigation & Drainage Laboratory of UNESP-FCA, in Botucatu-SP. Four micro sprinklers were used to determine the head loss in each system, and to calculate the variation of each one. The results demonstrated that they were classified like good as ABNT rules with $CVf = 4,14\%$; $2,29\%$; $2,86\%$; and $2,84\%$ respectively, and the best system of uniformity was “Tipo Malha” that was very similar to “Tipo Linha Lateral” system.

3. Introdução

Segundo Kemper (1997), as possibilidades de uso da água estão diminuindo em várias regiões do mundo, ao passo que a demanda por água potável está aumentando devido ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico. Um primeiro passo seria diminuir a poluição, na tentativa de restabelecer a qualidade da água e, com isto, tornar o recurso reutilizável.

Outro problema emergente devido a esse 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 suprindo assim a demanda por alimentos da crescente população mundial. Atualmente, mais de 50% da população mundial dependem da agricultura irrigada (Werneck et al., 1999).

O uso da água de maneira consciente e eficiente em sistemas hidráulicos (irrigação, abastecimentos de rede, etc), faz com que o desperdício seja mínimo, possibilitando um futuro mais promissor.

A crescente necessidade de se obter um melhor rendimento no setor de agricultura para colocar nossos produtos em competitividade com o mercado globalizado e a constante preocupação em economizar recursos hídricos tem levado inúmeros pesquisadores a

trabalhar com afinco em linhas de pesquisas para esse tema. Em concordância dessa linha o governo acena com pós-graduações na área de desenvolvimento agrário como uma saída racional para o melhoramento das condições do campo.

O acréscimo e desenvolvimento de sistemas de irrigação tornaram possível o controle da variável água, necessária para essa demanda. Dentre os processos de irrigação, a irrigação localizada mostrou sua eficiência demonstrando bons resultados com baixo custo.

Microaspersores e gotejadores são fabricados e desenvolvidos dia a dia para essa linha da irrigação, sendo que cada um, com uma eficácia específica dentro de um determinado segmento.

Trabalhos sobre a eficácia e ensaios com distribuição de microaspersores tem sido constantemente publicados em revistas ou em congressos, inclusive tais eventos tem sido criados para abordagem única sobre a linha de irrigação.

As dúvidas dos produtores e consultores técnicos, sobre o rendimento dos sistemas bem como a necessidade de fornecer dados para novos projetos e melhoras nos sistemas é latente.

A demanda por se determinar uma melhor distribuição e aproveitamento de energia e água em um sistema de irrigação localizada e a necessidade de verificar a conformidade dos microaspersores que existem no mercado e que podem surgir, além de identificar de forma exata a perda de propriedades hidráulicas de microaspersores usados, nos levou a desenvolver uma bancada para ensaios.

O objetivo da presente pesquisa foi, desenvolver uma bancada para ensaios de coeficiente de variação de fabricação dos emissores e desenvolve-los em conformidade com a ABNT segundo o projeto 04:015.08-015, que foi retirada da ISO 8026:1995 que trata de ensaios para microaspersores, a fim de poder calcular, de forma exata, os valores determinados em norma para microaspersores e fornecer um parâmetro para cálculos de vazões em três sistemas distintos de irrigação (Tipo Serpentina, Tipo Linha Lateral e Tipo Malha) dentro de uma única bancada, podendo ser desenvolvida em empresas e instituições de ensino para inclusive verificações de pressão e vazão dos emissores.

4. Revisão Bibliográfica.

A prática de irrigação quando adequadamente empregada torna-se em um eficiente instrumento de 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.

Sendo o método de irrigação localizada a mais utilizada, devido ao baixo consumo de água e a preocupação com as reservas cada vez mais escassas de água limpa, muitas empresas vem produzindo e importando materiais para a crescente demanda de equipamentos hidráulicos.

Os emissores para a microaspersão são denominados microaspersores, e tem importância principal para irrigação de áreas frutíferas e solos arenosos, devido a grande extensão de bulbos molhados a serem atendidos.

Os microaspersores são equipamentos providos de um corpo de sustentação, um bocal que determina a vazão de descarga pela sua resistência à passagem da água e de um sistema de dispersão ao qual tem função de dissipar a água em todas as direções e extensões de maneira uniforme.

No sistema de irrigação localizada, 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).

Sampaio et al. (1996) trabalhando com microaspersores, concluem que os emissores equipados com dispositivo giratório possuem melhor distribuição. Essa distribuição de água em um sistema de irrigação localizada depende dos seguintes fatores: da variação da pressão na rede hidráulica, do coeficiente de variação de fabricação, do número de emissores por planta, da variação das características do emissor com o uso (entupimento e/ou envelhecimento), do efeito do vento e da variação de fabricação dos reguladores de pressão, quando utilizado.

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 são necessários maior diâmetro de tubulação, laterais mais curtas e maior investimento em reguladores de pressão (Pizarro, 1990).

A uniformidade de aplicação interfere diretamente nos processos de infiltração de água no solo podendo em alguns casos os fluxos de infiltração serem substituídos por lâminas ascendentes causando a salinização de solos.

Segundo Abreu et al. (1987) o coeficiente de variação de fabricação é praticamente independente da pressão usada no teste, sempre que esteja compreendida na faixa de funcionamento do emissor.

Uma vez que se tenha a equação gerada entre as variáveis pressão e vazão, independe em qual pressão será testada o seu microaspersor, ele deverá se comportar próximo a equação descrita. Desta forma, a informação sobre a independência do coeficiente de fabricação sobre a pressão usada no teste, é comprovada na teoria, pois uma vez que todos os microaspersores serão submetidos as mesmas pressões, a variação de vazão entre os mesmos devem ser parecidas, podendo assim haver confrontações entre seus valores.

Os microaspersores pelos seus bocais também apresentam perdas de carga localizadas, Botrel (1984) observou que esse processo ficou melhor representado por modelo potencial, concordando com Caixeta (1991), que também encontrou elevados coeficientes de ajuste ao modelo potencial para perda de carga localizada.

A vazão do emissor, de acordo com Olitta (1987), pode ser representada pela equação $q = kH^x$, em que: q é a vazão em $L h^{-1}$, H é a pressão de operação em kPa, k é o coeficiente de proporcionalidade (adimensional) e x é o expoente de descarga.

Segundo Pizarro (1990) um emissor perfeito teria o expoente $x = 0$ (autocompensante), os de regime laminar $x = 1$ e nos de regime turbulento $x < 1$; já Keller & Karmeli (1974) consideram de regime laminar os emissores com expoente $x = 1$ e de regime turbulento com $x = 0,5$.

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 o mesmo coeficiente de descarga, a variação resultante do processo de fabricação normalmente tende a distribuir-se em torno de um valor médio (Keller & Karmeli, 1974; Bralts et al., 1981).

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:

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

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 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.

A quantidade d'água aplicada e sua uniformidade de distribuição pelos emissores são informações importantes para o dimensionamento e manejo racional de um sistema de irrigação localizada (Nascimento et al., 1999). A utilização de emissores com boas características hidráulicas em projetos hidráulicamente bem dimensionados, proporcionarão a obtenção de bom coeficiente de uniformidade de distribuição de água e, conseqüentemente, alta eficiência de irrigação (Solomon, 1979).

De acordo com Streeter e Wylie, citados por Caixeta (1991), o termo perda de carga é usado como sendo parte da energia potencial, de pressão e de velocidade que é transformada em outros tipos de energia, tal como o calor, durante o processo de condução de água.

Daniel Bernoulli, citado por diversos autores, dentre eles Neves (1989), estabeleceu em 1738 que, ao longo de qualquer linha de corrente, a soma das energias potencial e cinética, mais aquelas transformadas no processo de condução, é constante. Quando aplicada à condução de um líquido real, o balanço dessas energias pode ser representado pela Equação 2, denominada de equação de Bernoulli, aplicada a duas seções quaisquer de um líquido real em movimento.

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + hf \quad (2)$$

em que:

$$\frac{P_1}{\gamma} = \text{carga de pressão (m);}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} = \text{carga de velocidade ou dinâmica (m);}$$

$$z_1 \text{ e } z_2 = \text{carga geométrica ou de posição (m);}$$

$$hf = \text{perda de carga (m).}$$

Segundo Azevedo Netto (2000), qualquer causa perturbadora que venha estabelecer ou elevar a turbulência é responsável por uma perda de carga, decorrente da

conversão e dissipação de parte da energia mecânica em calor provocada pela inércia e turbilhonamentos, sendo denominadas de perdas localizadas. Apesar dessas perdas ocorrerem em locais isolados da tubulação, as mesmas podem se estender à jusante e à montante desses locais. Miller, citado por Caixeta (1991), exemplifica uma contração em que o escoamento só é plenamente desenvolvido ou restabelecido a uma distância trinta vezes o diâmetro, para número de Reynolds da ordem de 106.

O uso de equações generalizadas de perda de carga localizada torna-se uma tarefa difícil, uma vez que essas perdas dependem de diversos fatores, dentre os quais, a geometria da peça.

Existem várias formulações desenvolvidas por alguns pesquisadores para o cálculo de perda de carga, destacando-se as equações de Flamant, Hazen-Williams e Darcy-Weisbach. Segundo Gomes (1997), a equação desenvolvida por este último é a mais utilizada no meio científico, garantindo maior ajuste dos dados à realidade física. Esta equação, também é conhecida como Fórmula Universal de Perda de Carga.

Bernardo (1989) propõe o uso de resolução gráfica mediante um diagrama conhecido por Diagrama de Moody, para o cálculo do fator de atrito da fórmula de Darcy-Weisbach. Tal procedimento gera certa imprecisão devido a fatores como impressão do diagrama ou erro de visão do leitor.

Os regimes de escoamento são classificados em função do número de Reynolds: laminar (inferior a 2000) e turbulento (acima de 4000). O regime turbulento é subdividido em outros três tipos: condutos lisos, turbulento de transição e turbulência plena. Em cada um, f é determinado por equações empíricas que só podem ser empregadas no regime de escoamento em que foram ensaiadas (Neves, 1989).

De acordo com Azevedo Neto (2000) as expressões de Blasius, von Kármán-Prandtl e Nikuradse são recomendadas no regime turbulento em condutos lisos, as equações de Colebrook-White, Moody e Prandtl-Colebrook no regime turbulento de transição e para o regime de turbulência plena se utiliza a equação de Nikuradse. Entretanto, Swamee & Jain (1976), citados por Porto (1998), apresentaram uma expressão geral (Eq. 8) que calcula o fator de atrito (f) sem restrições quanto ao regime de escoamento, número de Reynolds e rugosidade relativa.

Segundo Porto (1998), é importante considerar que a maioria dos condutos utilizados em tubulações para condução de água, apresentam rugosidades maiores que 0,05 mm e, os escoamentos, em sua maioria, ocorrem com maiores valores do número de Reynolds, o que conduz a escoamentos turbulento de transição ou de turbulência plena, condições em que a equação de Swamee-Jain apresentou bons resultados.

Tendo os valores de fator de atrito pela formulação de Swamee & Jain, e aplicando-os na fórmula universal de perda de carga, poderemos calcular as perdas de carga em tubulações de maneira a projetar um sistema de irrigação que atenda a demanda hídrica das plantas.

A perda de carga ao longo da linha causa uma variação da pressão sobre cada bocal, pode causar ainda, um problema em relação à vida útil do bocal. Alguns terão vida útil maior que outros em função da diferença de pressão utilizada entre eles, levando a substituição prematura de parte do sistema de irrigação encarecendo o mesmo. A troca de parte desses microaspersores ainda pode acarretar diferenças maiores de pressão do que já existiam no sistema, visto que os novos aspersores podem não ter o mesmo desempenho dos já empregados.

Segundo Karmelli et al. (1982) o momento correto para a substituição dos bocais depende do custo dos bocais novos em relação ao custo da água, da vazão dos bocais, da vida útil do aspersor e da taxa de desgaste dos bocais por unidade de tempo, que é função principalmente da pressão de operação, da qualidade da água (concentração de sólidos) e da qualidade dos bocais. Para alta pressão de operação e baixa qualidade da água (muitos sólidos suspensos) o desgaste pode ser alto ($0,0002 \text{ h}^{-1}$ ou 2% em 100 h) e, para baixa pressão e boa qualidade da água, pode ser baixo ($0,000002 \text{ h}^{-1}$ ou 0,02% em 100 h). Esses autores, usando bocais de menor qualidade (material de menor resistência ao desgaste) mostraram a necessidade dos mesmos serem substituídos de 7 a 15 vezes durante a vida útil do aspersor, ou aproximadamente uma vez a cada ano. Em bocais de alta qualidade (resistente ao desgaste abrasivo) o desgaste foi reduzido e o mesmo precisou ser substituído uma única vez, ou duas, durante a vida do aspersor.

Existem trabalhos realizados com bancadas para testes em microaspersores como Oliveira et al (2001) e Souza et al (2005) os quais estudam suscetibilidade ao entupimento e desempenho de microaspersores, porém essas bancadas

trabalham com uma linha única de microaspersores sem levar em consideração a perda de carga ao longo do trecho e a tomada de pressão se restringe a entrada de pressão na rede, desconsiderando desta maneira a perda de carga causada pela perda de vazão de cada aparelho na linha. Em sistemas de irrigação o número emissores instalados é maior e a distância entre eles também aumenta, gerando também perdas de carga, tais perdas devem ocasionar uma menor pressão ao microaspersor situado no final da linha, tendo assim seus dados em relação ao coeficiente de variação de fabricação adulterados.

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), 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 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.

Segundo Bomam (2006), a principal vantagem de um sistema de irrigação é a uniformidade e assegurar que cada porção de terra receberá a mesma quantidade de água ou nutrientes químicos. Como o fluxo da água passa por meio de tubulações, existe a fricção entre a parede da tubulação e as partículas de água. Este resultado é um gradual, mas

não uniforme redução de pressão nas linhas laterais. A magnitude da perda de pressão em uma linha lateral depende a variação de vazão, diâmetro da tubulação, coeficiente de rugosidade (C), mudanças de elevação e comprimento da linha lateral.

Bomam (2006) ainda refere que a perda de carga é maior no começo de uma linha lateral. Aproximadamente 50% da perda de carga ocorre nos primeiros 25% de comprimento de uma linha lateral. Isto ocorre porque quando a vazão diminui a perda de carga diminui mais rapidamente. O comprimento das linhas laterais tem um largo impacto sobre a uniformidade de aplicação. Para um dado diâmetro de tubulação e uma taxa de vazão, quanto maior for a linha lateral mais comumente observaremos não uniformidade no sistema de microaspersão. Em geral, longos trechos de linha lateral trazem resultados com baixas taxas de uniformidade.

Quando uma linha lateral é localizada em uma subida ou descida, a emissão da taxa de vazão decresce muito rapidamente. Estas duas combinações que influenciam a elevação e perda de carga por fricção.

A utilização de sistemas de distribuição de água em malha é muito comum em sistemas de abastecimento de água urbano. Segundo Azevedo Neto (2000), as malhas possuem um papel de fundamental importância, elas garantem que mesmo que haja algum tipo de vazamento ou variação de vazão em qualquer ponto, os outros pontos ligados a malha receberão pressão e vazão suficientes para que continuem trabalhando de maneira satisfatória até o reparo do determinado ponto. Outro fator determinante é a uniformidade de distribuição de água a qual pretende-se distribuir os valores de vazão em todos os pontos igualmente.

A utilização do sistema de distribuição em malha para a irrigação deve ser melhor estudado, comparando custos e benefícios, sendo que o principal objetivo da irrigação localizada é a distribuição uniforme de água, o mesmo da distribuição em malha. A verificação fica compreendida somente no aumento de custo de implantação do sistema em relação a sua durabilidade e produtividade.

Atenção especial deve ser dada aos microaspersores auto compensantes, que tem por objetivo estabilizar uma vazão constante independentemente da variabilidade do sistema.

5. Materiais e Método.

O presente trabalho foi realizado no laboratório de Ensaios de Equipamentos para Irrigação do Departamento de Engenharia Rural da FCA- UNESP de Botucatu – SP. Neste laboratório, encontramos um modelo de bancada de testes para microaspersores projetado e construído pelo Prof. Raimundo Leite Cruz (Figura 1), essa bancada não havia até então, sido testada ou aferida conforme as normas para testes em microaspersores regulamentam.

Em cima do modelo da bancada de testes de microaspersores, foram desenvolvidas alterações estruturais e hidráulicas, com o intuito de atender o Projeto 04:015.08-015 e o Projeto 12:02.08-021 da ABNT, no que diz respeito ao coeficiente de variação de fabricação, além de permitir outros testes para fins de eficiência e didáticos.

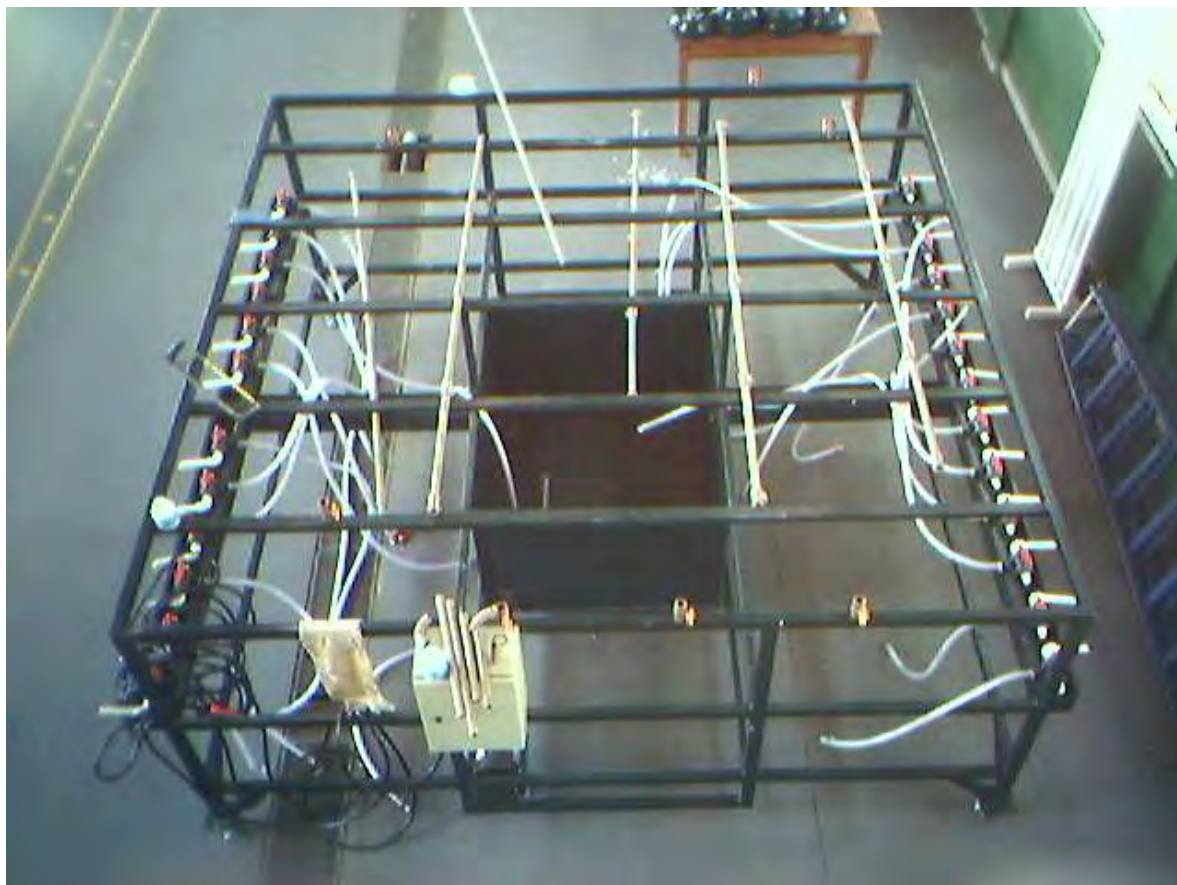


Figura 1. Estrutura da bancada de testes para microaspersores.

A bancada foi alterada em relação ao diâmetro da tubulação que passou de 20 mm a 25 mm e do tipo do material que passou de aço galvanizado a PVC, além da alteração de fluxo que não tinha um sentido definido, pois a alimentação da bancada era feita pelo meio da mesma para um desenho de ordem lógica, obrigando a bancada a seguir um fluxo de entrada e saída de vazão, o qual atendesse por ordem seqüencial todos os microaspersores.

Foram implementados ainda pontos para tomada de pressão e vazão para controle das variáveis ao longo dos trechos.

As leituras de pressão foram retiradas mediante a utilização de um manômetro eletrônico, modelo Hitronic, com precisão de $\pm 0,5\%$ FE.

A inclusão de válvulas de esfera em cada entrada e saída de trecho visou dar maior mobilidade e independência ao traçado preferido do executor (Figura 2), podendo desta maneira simular não só o microaspersor, mas também o sistema em que ele esta inserido, uma vez que o tipo do sistema altera significativamente suas características.

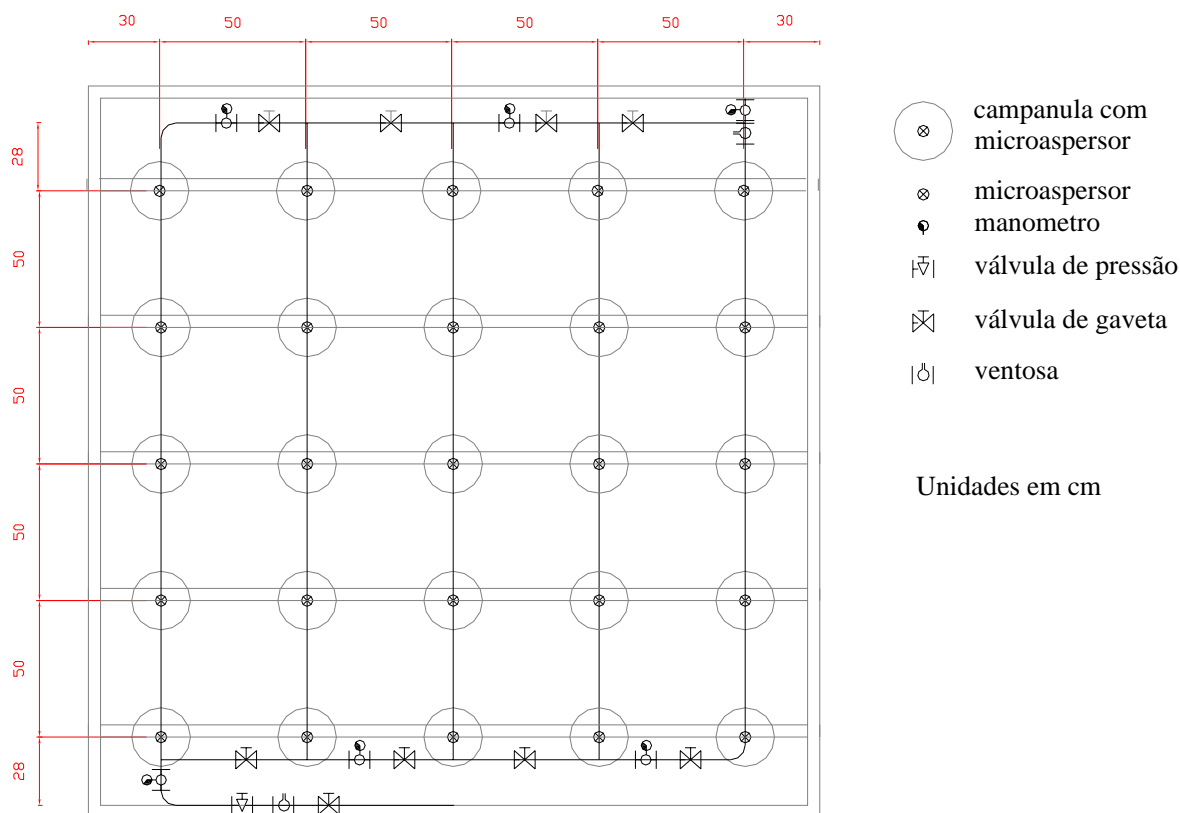


Figura 2. Projeto final para a execução da bancada, com colocação de válvulas, campânulas e distâncias.

A bomba estabelecida em projeto para a bateria de teste foi superdimensionada, com intenção de ter na própria bancada uma tomada de água para teste em campo e uma simulação para que o modelo possa ser implementado como sendo parte de um sistema (parcela) e não só como sistema inteiro de irrigação.

Para os cálculos de vazão da bomba, foi solicitada ao fabricante uma nova curva de pressão x vazão, da bomba (Anexo1), uma vez que esta estava superdimensionada ao sistema. Os dados foram então retirados segundo valores repassados pelo fabricante.

O reservatório de 2000 L era mantido com nível praticamente constante, uma vez que era abastecido com uma vazão semelhante a que era coletada pelos microaspersores, a fim de manter a carga hidráulica sobre a bomba constante, durante os testes.

Para evitar os possíveis entupimentos nos microaspersores foi colocado um filtro de disco de 120 mesh.

Em relação ao sistema de bombeamento foi colocada uma saída controlada com manômetro a fim de devolver ao sistema toda a vazão excedente despejada, dando ao conjunto moto-bomba resfriamento e evitando desgaste do material.

A pressão de entrada do sistema foi controlada por uma seqüência de válvulas, a primeira de esfera, controlando a passagem total ou parcial do fluxo e a segunda por uma válvula de pressão, a qual ficou encarregada de ajuste fino da pressão.

Para futuros problemas de entrada de ar na tubulação foram colocadas duas ventosas, uma no início do sistema, antes da válvula de pressão e manômetro (Figura 3), para evitar interferência no manômetro, e outra no fim do sistema, para que o ar que pudesse estar no sistema tivesse uma segunda válvula de escape (Figura 4).

Foram coletados 50 microaspersores não seqüenciais dentro de um lote de mais de 500 unidades, como prevê a norma, de 3 marcas distintas e renomadas no país, deste total foram utilizados 25 dos mesmos e dispostos na bancada de testes conforme a Figura 5.

Os modelos coletados seguiram uma ordem de vazão pré-estipulada para averiguação e confrontação de modelos e marcas disponíveis, conforme a Tabela 1.



Figura 3. Localização da ventosa do início do sistema. (antes do manômetro e do registro de pressão)



Figura 4. Localização da ventosa do fim do sistema. (depois do manômetro e antes do registro de gaveta)



Figura 5. Microaspersor colocado na câmpula para teste de variaçãõ de fabricaçãõ.



Figura 6. Foto da bancada realizando ensaio com microaspersor azul.

Tabela 1. Modelos e marcas dos microaspersores com sua vazão e pressão de trabalho sugerido pelo fabricante.

Modelo/Marca	Vazão (L h ⁻¹) x Pressão (kPa)
Dan 2002 – autocompensante / Naandan Bocal marrom 1,10mm	35 x 250
Hadar 7110 / Naandan Bocal cinza 0,9mm	41 x 250
Azud Bocal branco 0,9mm	40 x 250
Amanco MF Bocal verde claro 1,0mm	50 x 250

Foram preteridos os microaspersores com bocais menores e com vazões semelhantes entre si, pela justificativa de que eram os mais consumidos, segundo o fabricante, no país e por serem de fácil identificação qualquer alteração dos dados especificados pelo fabricante.

Os microaspersores foram fixados com microtubos dentro de uma campânula fechada, dispostos de forma aleatória na bancada de forma a preencher os 25 pontos de coleta, e com tomadas de água por meio de mangueiras para válvulas de dupla saída, as quais conduziram o líquido captado até os baldes de coleta. Durante o processo esses microaspersores não sofreram alteração de posicionamento.

A bancada foi desenvolvida para submeter os microaspersores a trabalhos semelhantes aos que seriam submetidos em campo, desta forma foram testados 3 modelos de fluxo na bancada.

O primeiro modelo, denominado de “Tipo Serpentina”, foi realizado alternando o fechamento das válvulas de esfera, formando desta maneira um fluxo único entre os microaspersores, desde a saída da bomba até a tubulação de descarga, conforme esquema da Figura 7.

O segundo modelo, denominado de “Tipo Linha Lateral”, foi realizado com o fechamento das válvulas de esfera de um único lado, formando desta maneira um fluxo

único entre “ruas” abastecido por uma linha principal, formando assim 5 linhas secundárias desde a saída da bomba até a última linha, conforme esquema da Figura 8.

O terceiro modelo, denominado de “Tipo Malha”, foi realizado com a abertura de todas as válvulas de esfera do sistema, formando desta maneira um fluxo múltiplo entre todas as linhas de microaspersores desde a saída da bomba até a última linha, conforme esquema da Figura 9.

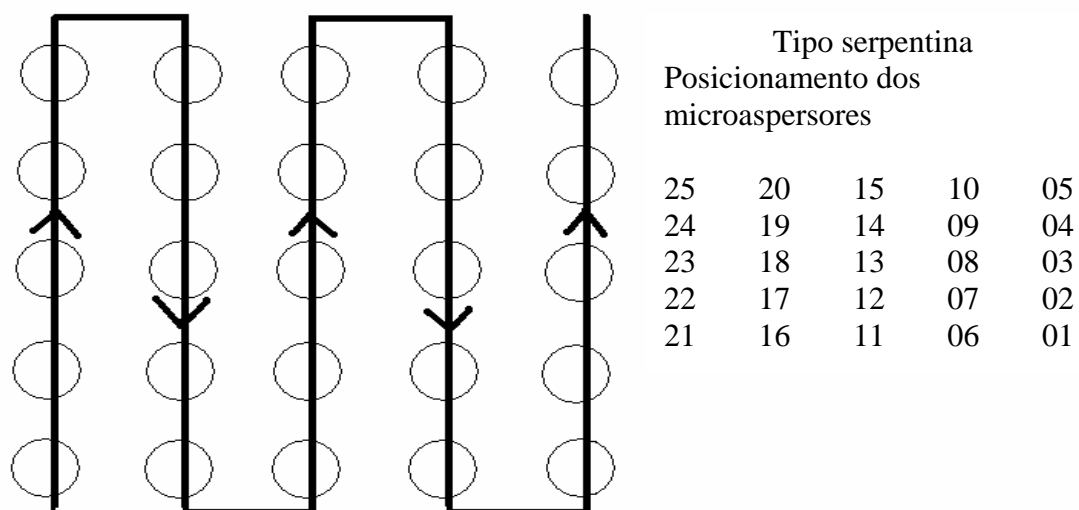


Figura 7. Esquema de disposição dos microaspersores e sentido do fluxo da água na bancada Tipo Serpentina.

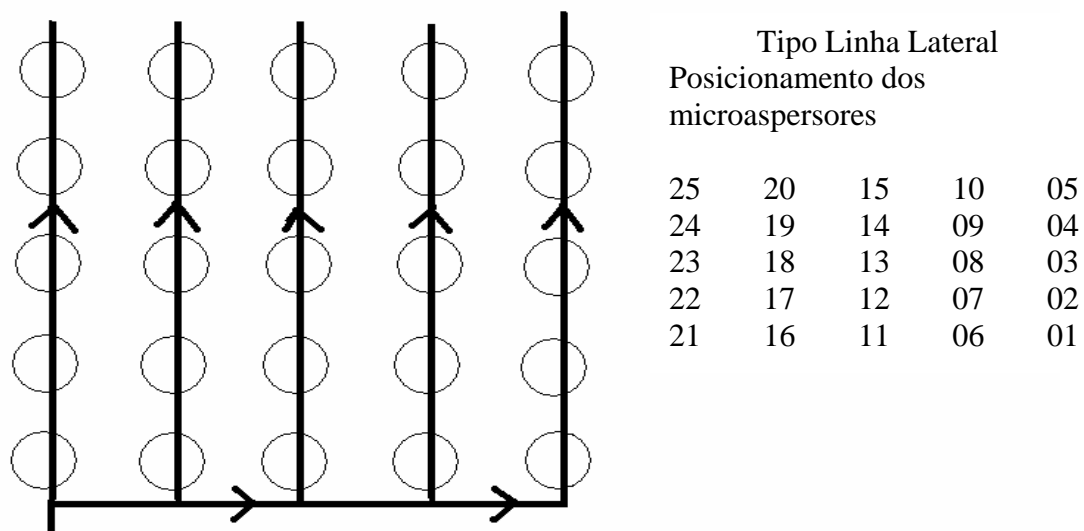


Figura 8. Esquema de disposição dos microaspersores e sentido do fluxo da água na bancada. Tipo Linha Lateral.

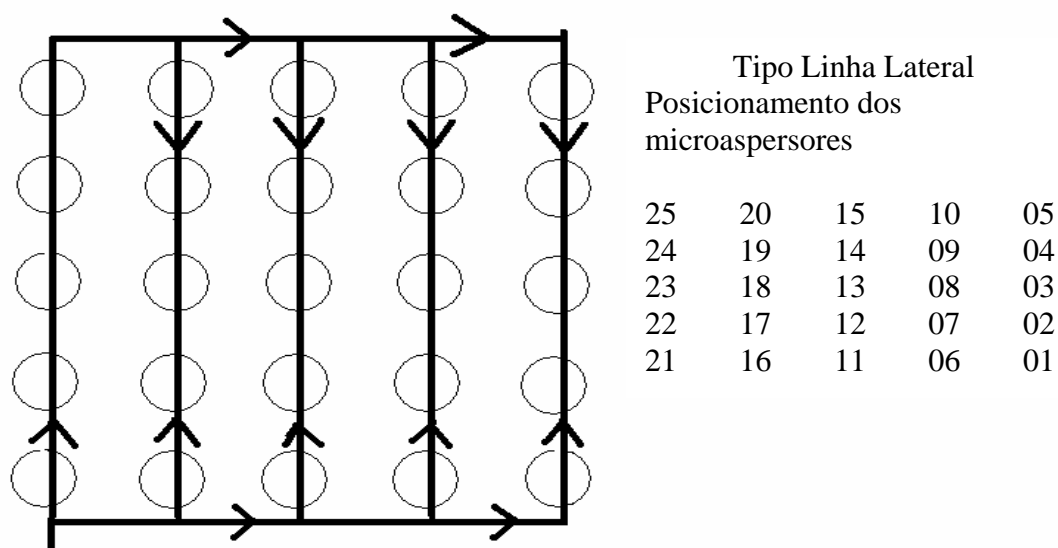


Figura 9. Esquema de disposição dos microaspersores e sentido do fluxo da água na bancada. Tipo Malha.

Os microaspersores foram testados na seguinte ordem: Naandan não compensante, Naandan auto compensante, Azud não compensante e Amanco não

compensante. Os sistemas foram testados seguindo a ordem: Tipo Serpentina, Linha Lateral e Malha.

As medidas de vazão foram realizadas pelo método direto, na qual a água captada do microaspersor era conduzida até um recipiente de volume de 20 litros (Figura 10), com uma válvula de dupla passagem (Figura 11). Estabelecido um tempo determinado que variou de 10 a 20 minutos conforme a vazão declarada pelo fabricante de cada microaspersor, o recipiente era pesado com uma balança eletrônica de precisão de 15 gramas. Com sua massa específica foi calculado o volume de água coletado e a vazão do microaspersor. Foram realizadas três repetições para cada microaspersor em cada situação de sistema e tirada a média aritmética.



Figura 10. Sistema de coleta da bancada de microaspersores .



Figura 11. Válvula de dupla saída

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 $9,8 \text{ m/s}^2$.

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

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 bocal.

No sistema em malha, foi utilizado o software WaterCad 6.0, da empresa Haestad Methodos, 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.

6. Resultado 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 nas Tabelas 2, 3, 4 e 5, são valores retirados da média aritmética das três repetições realizadas, para cada pressão estipulada em cada marca de microaspersor.

Tabela 2. Valores de pressão e vazão em cada bocal, da marca Amanco não compensante, para o teste Tipo Serpentina, conforme fluxo.

Pressão inicial	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)
Emissor 21	62,67	297,740	55,63	247,458	50,18	197,211	43,07	146,998
Emissor 22	66,85	295,923	59,37	245,408	51,82	194,957	44,19	144,567
Emissor 23	73,11	294,141	57,02	243,391	51,16	192,733	43,97	142,161
Emissor 24	61,93	292,360	55,58	241,404	50,00	190,538	43,11	139,782
Emissor 25	64,41	290,682	57,97	239,448	51,53	188,371	44,01	137,428
Emissor 20	58,30	287,461	52,13	235,757	46,90	184,273	40,38	132,964
Emissor 19	60,89	285,809	54,13	233,859	48,32	182,160	41,59	130,658
Emissor 18	64,09	284,188	57,00	231,990	50,46	180,075	43,04	128,376
Emissor 17	62,18	282,598	56,43	230,150	50,04	178,017	42,83	126,119
Emissor 16	77,26	281,038	54,34	228,340	48,07	175,986	41,04	123,886
Emissor 11	56,15	278,120	53,37	224,924	48,63	172,144	41,24	119,651
Emissor 12	65,58	276,625	56,86	223,169	49,96	170,166	40,64	117,464
Emissor 13	75,22	275,161	51,99	221,443	46,94	168,214	41,64	115,300
Emissor 14	57,46	273,732	52,77	219,744	47,65	166,288	40,98	113,160
Emissor 15	61,35	272,330	54,87	218,071	48,04	164,387	40,99	111,042
Emissor 10	58,64	269,697	52,51	214,917	46,68	160,792	39,90	107,026
Emissor 9	61,43	268,350	55,78	213,297	48,02	158,940	40,77	104,953
Emissor 8	66,63	267,032	55,25	211,705	49,65	157,114	42,11	102,902
Emissor 7	58,39	265,743	52,47	210,140	47,06	155,313	40,42	100,875
Emissor 6	60,95	264,480	53,84	208,600	48,88	153,537	40,87	98,869
Emissor 1	57,02	262,111	51,87	205,698	45,91	150,181	39,29	95,066
Emissor 2	54,50	260,900	50,97	204,209	44,04	148,453	41,15	93,104
Emissor 3	63,02	259,713	56,70	202,745	49,89	146,747	42,13	91,163
Emissor 4	60,72	258,553	54,20	201,307	48,6	145,067	41,37	89,245
Emissor 5	59,83	257,419	53,41	199,894	48,59	143,411	41,41	87,348

Tabela 3. Valores de pressão e vazão em cada bocal, da marca Azud, para o teste Tipo Serpentina não compensante, conforme fluxo.

Pressão inicial	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)
Emissor 21	48,68	297,740	44,75	247,458	39,05	197,211	33,78	146,998
Emissor 22	50,68	295,916	46,98	245,402	41,29	194,951	35,27	144,561
Emissor 23	49,63	294,118	45,09	243,372	39,92	192,715	34,66	142,145
Emissor 24	49,23	292,346	44,83	241,367	39,63	190,501	34,45	139,750
Emissor 25	48,80	290,599	44,34	2393,860	39,04	188,310	33,84	137,374
Emissor 20	49,14	287,298	44,59	235,634	39,35	184,152	33,77	132,859
Emissor 19	49,09	285,600	45,87	233,700	40,31	182,004	35,24	130,523
Emissor 18	47,79	283,928	43,61	231,791	38,26	179,879	33,22	128,207
Emissor 17	47,29	282,279	42,80	229,905	37,81	177,775	32,98	125,910
Emissor 16	49,53	280,653	44,44	228,041	38,63	175,692	33,10	123,632
Emissor 11	46,01	277,585	40,65	224,514	36,86	171,740	31,67	119,302
Emissor 12	48,34	276,006	43,01	222,695	38,83	169,699	33,84	117,061
Emissor 13	47,06	274,452	41,33	220,898	37,55	167,678	31,93	114,840
Emissor 14	46,01	272,919	41,41	219,122	36,59	165,678	32,09	112,636
Emissor 15	47,02	271,410	43,53	217,368	39,33	163,698	35,39	110,450
Emissor 10	49,61	268,558	44,18	214,047	40,72	159,942	35,12	106,299
Emissor 9	47,24	267,095	41,53	212,338	37,35	158,005	32,12	104,152
Emissor 8	49,48	265,653	44,33	210,649	40,05	156,087	34,48	102,024
Emissor 7	46,84	264,234	41,76	208,982	37,40	154,191	31,94	99,914
Emissor 6	47,20	262,838	42,88	207,336	37,73	152,314	32,55	97,823
Emissor 1	47,07	260,202	42,63	204,222	37,09	148,755	31,88	93,848
Emissor 2	46,90	258,849	42,65	202,619	36,99	146,917	32,20	91,792
Emissor 3	47,01	257,517	44,03	201,036	36,35	145,099	32,20	89,753
Emissor 4	46,49	256,206	41,95	199,475	36,66	143,300	31,85	87,732
Emissor 5	47,09	254,917	41,88	197,934	35,89	141,519	32,10	85,728

Tabela 4. Valores de pressão e vazão em cada bocal, da marca NaanDan auto compensante, para o teste Tipo Serpentina, conforme fluxo.

Pressão inicial	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)
Emissor 21	35,38	297,740	34,53	247,458	32,945	197,211	31,68	146,998
Emissor 22	36,34	295,909	35,23	245,397	33,635	194,948	36,66	144,560
Emissor 23	35,93	294,097	35,97	243,355	33,925	192,704	32,96	142,144
Emissor 24	33,88	292,303	33,16	241,332	31,930	190,479	33,05	139,747
Emissor 25	34,67	290,527	34,01	239,328	32,310	188,272	30,27	137,369
Emissor 20	35,96	287,157	35,07	235,522	32,790	184,077	30,92	132,846
Emissor 19	33,55	285,417	35,72	233,555	33,055	181,907	31,97	130,503
Emissor 18	35,31	283,694	35,31	231,607	33,110	179,755	32,18	128,180
Emissor 17	34,96	281,989	35,54	229,678	33,320	177,622	31,73	125,875
Emissor 16	35,37	280,302	34,62	227,767	32,200	175,507	31,57	123,588
Emissor 11	33,39	277,102	33,13	224,141	31,920	171,488	33,72	119,239
Emissor 12	34,05	275,449	33,97	222,267	32,805	169,408	34,78	116,989
Emissor 13	35,01	273,812	34,12	220,410	32,240	167,347	32,72	114,759
Emissor 14	32,71	272,194	32,13	218,571	30,945	165,303	32,39	112,548
Emissor 15	33,85	270,591	32,85	216,749	31,200	163,276	32,13	110,355
Emissor 10	35,26	267,551	34,97	213,290	33,165	159,423	32,39	106,185
Emissor 9	32,69	265,983	32,57	211,503	30,710	157,431	32,81	104,028
Emissor 8	32,74	264,430	34,71	209,732	32,825	155,456	32,84	101,890
Emissor 7	32,51	262,893	32,03	207,980	30,555	153,498	32,03	99,769
Emissor 6	34,67	261,371	34,78	206,244	33,610	151,556	36,90	97,666
Emissor 1	34,91	258,487	33,49	202,950	32,860	147,869	32,54	93,675
Emissor 2	36,49	256,999	35,66	201,249	34,295	145,963	32,40	91,610
Emissor 3	34,30	255,528	33,96	199,565	32,205	144,075	31,65	89,563
Emissor 4	33,74	254,074	33,49	197,898	31,265	142,204	30,26	87,534
Emissor 5	34,71	252,635	32,62	196,249	31,735	140,349	31,62	85,521

Tabela 5 Valores de pressão e vazão em cada bocal, da marca NaanDan não compensante, para o teste Tipo Serpentina, conforme fluxo.

Pressão inicial	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)
Emissor 21	49,95	297,740	44,66	247,458	39,653	197,211	34,25	146,998
Emissor 22	49,00	295,916	45,33	245,402	40,173	194,951	34,41	144,561
Emissor 23	50,07	294,118	45,77	243,371	40,913	192,715	35,37	142,145
Emissor 24	48,65	292,346	44,37	241,365	39,527	190,501	34,15	139,750
Emissor 25	49,75	290,599	44,47	239,383	39,533	188,310	34,53	137,375
Emissor 20	49,41	287,298	44,41	235,630	38,847	184,153	33,59	132,860
Emissor 19	48,21	285,601	43,87	233,696	39,013	182,006	35,08	130,524
Emissor 18	48,95	283,928	45,45	231,785	40,067	179,880	34,30	128,208
Emissor 17	48,33	282,280	43,26	229,898	39,847	177,777	33,59	125,912
Emissor 16	47,60	280,656	44,35	228,033	38,493	175,695	33,62	123,636
Emissor 11	47,01	277,587	42,65	224,504	37,667	171,747	31,85	119,309
Emissor 12	50,55	276,009	46,53	222,686	41,113	169,707	36,11	117,069
Emissor 13	46,67	274,456	43,40	220,891	38,413	167,690	33,05	114,850
Emissor 14	45,92	272,925	42,16	219,118	37,127	165,693	32,32	112,650
Emissor 15	51,19	271,417	46,93	217,367	41,593	163,717	35,97	110,468
Emissor 10	46,67	268,572	42,61	214,043	37,833	159,971	32,63	106,324
Emissor 9	48,47	267,110	46,07	212,331	41,070	158,037	34,81	104,180
Emissor 8	47,20	265,671	43,05	210,644	38,200	156,127	32,91	102,055
Emissor 7	46,18	264,254	42,21	208,979	37,600	154,237	32,43	99,949
Emissor 6	46,65	262,858	42,43	207,336	37,747	152,368	32,56	97,861
Emissor 1	45,27	260,224	40,33	204,225	35,893	148,822	31,19	93,893
Emissor 2	45,54	258,871	41,55	202,622	37,227	146,990	31,98	91,839
Emissor 3	45,64	257,538	41,43	201,040	37,107	145,178	32,11	89,803
Emissor 4	45,69	256,226	41,38	199,478	36,640	143,386	31,78	87,785
Emissor 5	45,27	254,935	41,79	197,350	37,120	141,612	32,13	85,784

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”

$$d_j^2 = (\underline{\mathbf{X}}_j - \underline{\bar{\mathbf{X}}})' \mathbf{S}^{-1} (\underline{\mathbf{X}}_j - \underline{\bar{\mathbf{X}}}), \quad j = 1, 2, \dots, n$$

$\underline{\mathbf{X}}_1, \underline{\mathbf{X}}_2, \dots, \underline{\mathbf{X}}_n$ são observações amostrais.

Quando a população de onde a amostra foi retirada é normal multivariada e ambos n e $n - p$ são maiores que 23, cada uma das distâncias $d_1^2, d_2^2, \dots, d_n^2$ comporta-se como uma variável aleatória tipo qui-quadrado (χ^2).

O método consiste nos seguintes passos:

(1) Ordenar as distâncias em ordem crescente.

(2) Representar graficamente os pares $\left[d_j^2, \chi_p^2 \left(\frac{j-1}{n} \right) \right]$, obtendo-se χ_p^2 na

O resultado do gráfico deve ser uma linha reta aproximada. Uma curva sistemática sugere a falta de normalidade.

Foram trabalhados os dados das Tabelas 2, 3, 4, e 5 para a construção dos Gráficos 1, 2, 3 e 4 através do programa MINITAB versão 7.

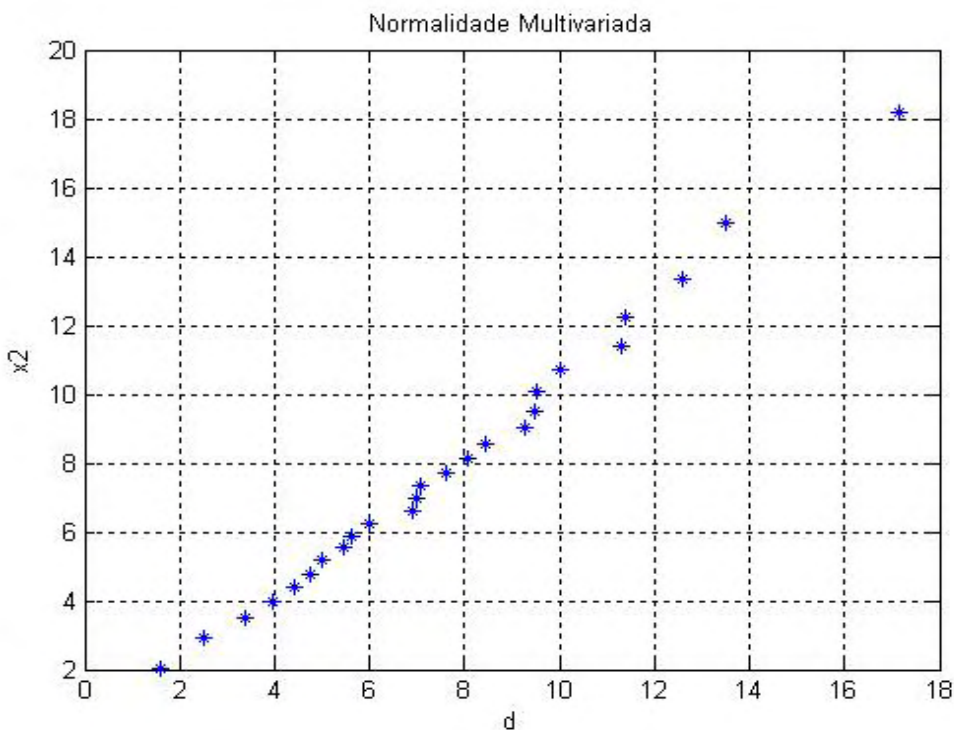


Gráfico 1. Distribuição da normalidade multivariada para os dados retirados do microaspersor Amanco não compensante.

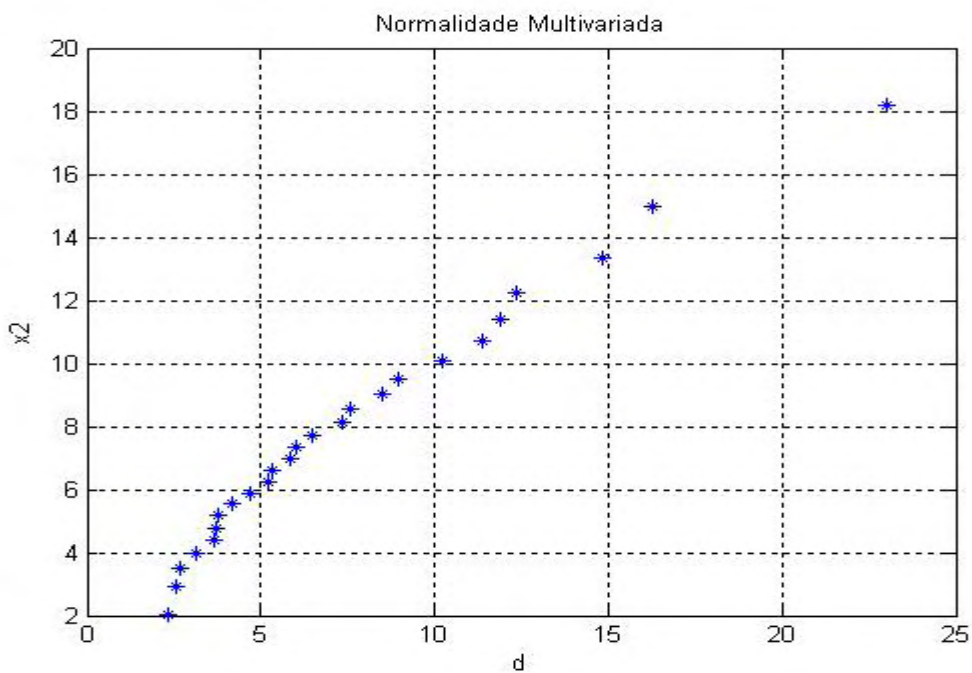


Gráfico 2. Distribuição da normalidade multivariada para os dados retirados do microaspsor Azud não compensante.

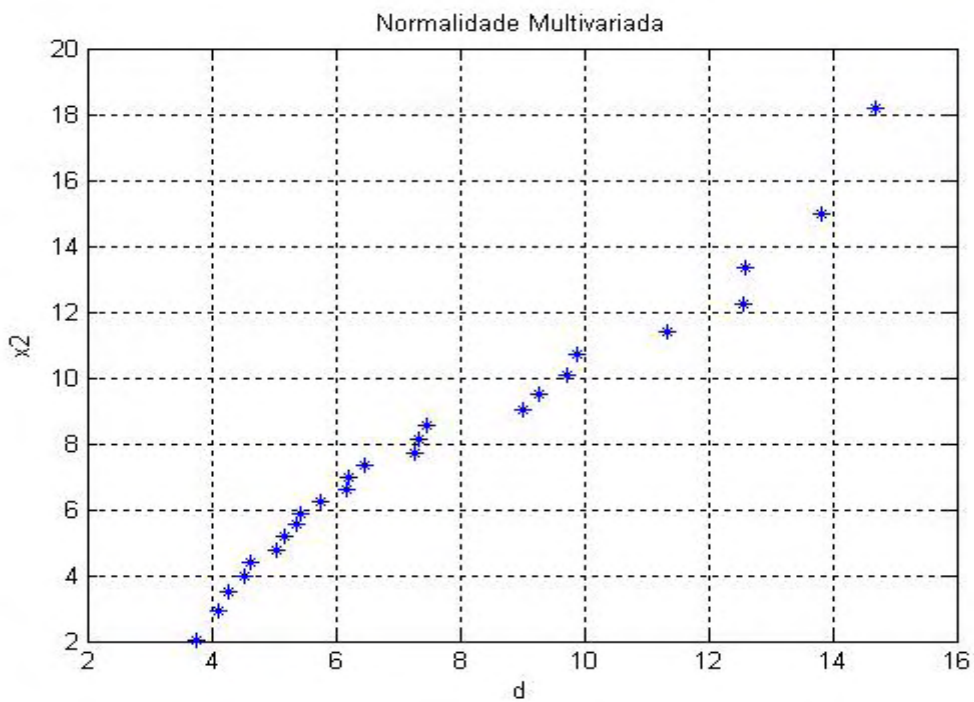


Gráfico 3. Distribuição da normalidade multivariada para os dados retirados do microaspsor Naandan não compensante.

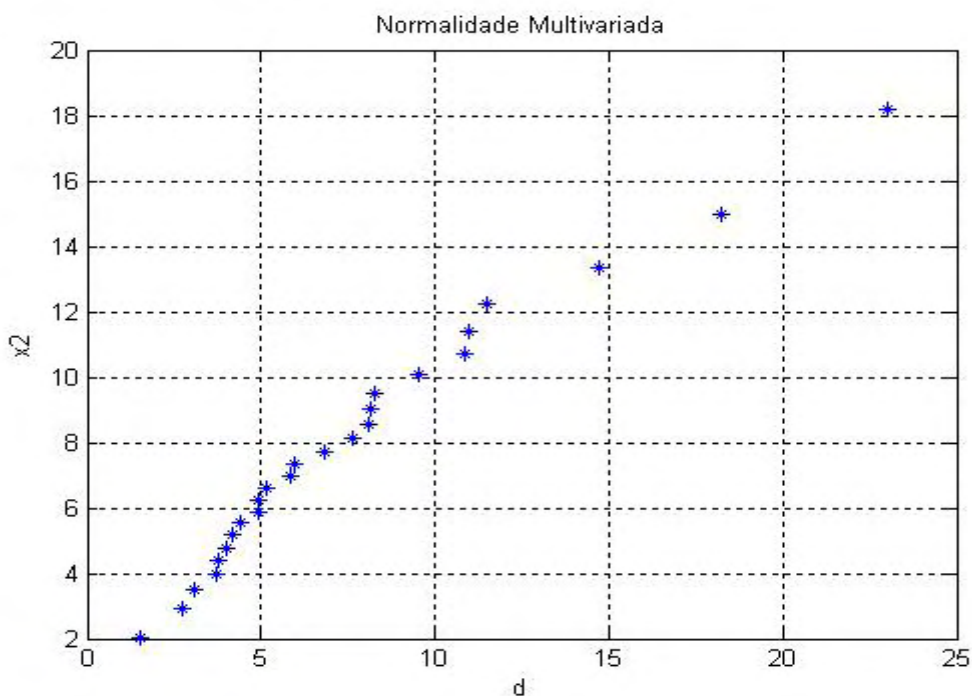


Gráfico 4. Distribuição da normalidade multivariada para os dados retirados do microaspersor Naandan autocompensante.

Os gráficos obtidos para a verificação de normalidade apresentaram tendências 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 nas Tabelas 6, 7, 8 e 9, 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 6. Valores de x e y pertencentes a equação de caracterização da curva de cada microaspersor Amanco e os respectivos valores de R^2 encontrados.

	y	x	R^2	Vazão na pressão de 250kPa (L h-1)
Emissor 1	3,1504	0,3673	99,87%	55,7736
Emissor 2	5,822	0,283	94,87%	53,2953
Emissor 3	3,0741	0,3833	99,83%	61,6806
Emissor 4	3,6898	0,3549	99,54%	59,2832
Emissor 5	4,3408	0,3324	99,37%	58,4851
Emissor 6	2,6649	0,3957	99,39%	58,9177
Emissor 7	3,0014	0,3752	99,70%	56,5238
Emissor 8	1,7063	0,4597	96,66%	62,2427
Emissor 9	1,8756	0,4418	99,73%	59,4771
Emissor 10	2,2266	0,413	99,75%	56,3627
Emissor 11	3,0376	0,3698	98,43%	54,8389
Emissor 12	0,8367	0,5491	99,72%	61,4297
Emissor 13	3,2288	0,3616	99,54%	54,6684
Emissor 14	2,8081	0,3814	99,98%	55,5120
Emissor 15	1,7519	0,4486	99,74%	58,5902
Emissor 16	1,3147	0,4824	99,75%	57,2787
Emissor 17	1,5793	0,462	99,99%	58,6561
Emissor 18	1,2241	0,4967	99,80%	59,6450
Emissor 19	1,3117	0,481	99,65%	56,5254
Emissor 20	1,372	0,4698	99,74%	54,1635
Emissor 21	0,9554	0,5219	99,64%	56,6983
Emissor 22	0,6613	0,5767	99,84%	60,2546
Emissor 23	1,1962	0,4964	99,92%	58,1489
Emissor 24	1,2819	0,4851	99,83%	57,0420
Emissor 25	1,1364	0,5059	99,96%	59,5044

Tabela 7. Valores de x e y pertencentes a equação de caracterização da curva de cada microaspersor Azud e os respectivos valores de R^2 encontrados.

	y	x	R^2	Vazão na pressão de 250kPa (L h-1)
Emissor 1	2,2799	0,3841	99,53%	46,0325
Emissor 2	2,6204	0,3660	99,15%	45,9212
Emissor 3	2,4566	0,3759	96,92%	46,5179
Emissor 4	2,8744	0,3532	99,12%	45,5722
Emissor 5	2,9067	0,3521	96,69%	45,6893
Emissor 6	2,4113	0,3770	99,70%	46,0548
Emissor 7	2,1832	0,3876	99,58%	45,3038
Emissor 8	2,6274	0,3709	99,55%	47,8434
Emissor 9	1,9768	0,4000	98,98%	45,2000
Emissor 10	2,8269	0,3611	99,02%	47,6767
Emissor 11	1,4815	0,4316	99,26%	43,3763
Emissor 12	1,8808	0,4080	99,24%	45,7828
Emissor 13	1,5077	0,4327	99,14%	44,5250
Emissor 14	1,8283	0,4063	99,33%	43,9168
Emissor 15	3,8033	0,3173	99,49%	45,5331
Emissor 16	0,9798	0,4934	99,76%	46,5244
Emissor 17	1,3458	0,4472	99,72%	44,5184
Emissor 18	1,2156	0,4616	99,81%	45,0070
Emissor 19	1,5765	0,4329	99,58%	46,6297
Emissor 20	1,0105	0,4876	99,97%	45,8534
Emissor 21	0,7285	0,5258	99,79%	44,5724
Emissor 22	0,8433	0,5136	99,71%	46,8991
Emissor 23	0,9485	0,4952	99,93%	45,6770
Emissor 24	1,0156	0,4861	99,91%	45,5472
Emissor 25	0,9684	0,4913	99,89%	45,2338

Tabela 8. Valores de x e y pertencentes a equação de caracterização da curva de cada microaspersor Naandan e os respectivos valores de R^2 encontrados.

	y	x	R^2	Vazão na pressão de 250kPa (L h-1)
Emissor 1	2,6125	0,3607	99,03%	43,9231
Emissor 2	3,1415	0,3396	99,90%	44,7793
Emissor 3	3,3258	0,3312	99,68%	44,3909
Emissor 4	3,1892	0,3379	99,44%	44,8586
Emissor 5	3,7643	0,3168	99,80%	44,8902
Emissor 6	2,6539	0,3633	99,82%	45,5361
Emissor 7	2,6217	0,3636	99,91%	45,0894
Emissor 8	2,3966	0,3775	99,89%	45,9534
Emissor 9	2,808	0,3631	98,94%	48,1049
Emissor 10	2,1959	0,3867	99,91%	45,2476
Emissor 11	1,2123	0,4614	100%	44,8146
Emissor 12	2,1779	0,3967	99,70%	48,5289
Emissor 13	1,9513	0,4017	99,83%	45,2144
Emissor 14	1,9228	0,4009	99,77%	44,2760
Emissor 15	2,2594	0,3945	99,91%	49,4858
Emissor 16	1,5100	0,4352	99,39%	45,4737
Emissor 17	1,4774	0,4383	99,27%	45,5843
Emissor 18	1,3350	0,4539	99,77%	46,5378
Emissor 19	1,8619	0,4077	99,03%	45,2165
Emissor 20	0,9033	0,5018	99,74%	45,8056
Emissor 21	0,7066	0,5315	99,82%	45,2042
Emissor 22	0,9178	0,4985	99,81%	45,3546
Emissor 23	1,0968	0,4785	100%	46,3491
Emissor 24	1,0538	0,4801	99,99%	45,0930
Emissor 25	1,0367	0,4842	99,56%	45,8074

Tabela 9. Valores de x e y pertencentes à equação de caracterização da curva de cada microaspersor Naandan autocompensante e os respectivos valores de R^2 encontrados.

	y	x	R^2	Vazão na pressão de 250kPa (L h-1)
Emissor 1	20,800	0,064181	67%	34,3456
Emissor 2	14,651	0,116699	77%	36,4810
Emissor 3	17,853	0,083391	66%	34,2578
Emissor 4	14,147	0,111593	47%	33,8481
Emissor 5	21,768	0,054082	39%	33,2129
Emissor 6	20,660	0,066792	57%	34,8155
Emissor 7	23,702	0,043595	19%	33,3116
Emissor 8	30,917	0,008698	29%	33,0689
Emissor 9	30,026	0,010687	30%	32,6224
Emissor 10	16,100	0,0997	9383%	35,1237
Emissor 11	22,789	0,048498	04%	33,2802
Emissor 12	22,112	0,054684	17%	33,8966
Emissor 13	18,855	0,077494	02%	34,5483
Emissor 14	23,000	0,043990	72%	32,4263
Emissor 15	17,159	0,085398	06%	33,4454
Emissor 16	10,802	0,149291	93%	34,7118
Emissor 17	13,152	0,123898	20%	34,6463
Emissor 18	12,947	0,126894	64%	34,9163
Emissor 19	20,923	0,059891	53%	33,4057
Emissor 20	7,126	0,203998	75%	35,1306
Emissor 21	9,784	0,160899	15%	34,4275
Emissor 22	19,491	0,075797	65%	35,2418
Emissor 23	12,589	0,132491	48%	35,4714
Emissor 24	26,571	0,029561	34%	33,4693
Emissor 25	7,893	0,186698	47%	33,9858

Com os dados obtidos da vazão dos microaspersores sob a pressão de 250 kPa, obteve-se o CVf de cada marca de microaspersor, conforme Tabela 10

Tabela 10. Coeficiente de variação de fabricação (CVf), de cada marca de microaspersor, conforme a pressão de 250kPa e sua vazão média;

Microaspersor	Média das vazões em Lh ⁻¹ , obtida a 250 kPa	CVf
Amanco não compensante	57,80	0,041385
Azud não compensante	45,65	0,022894
Naandan não compensante	45,66	0,028645
Naandan autocompensante	34,16	0,029443

Quanto aos valores de CVf encontrados, todos se enquadram dentro da ABNT como de boa qualidade. Sendo que o que atingiu o menor valor foi o da marca Azud, demonstrando sua homogeneidade na fabricação, garantindo desta maneira resultados no campo mais próximos ao calculados em teoria.

Para a verificação de melhor sistema utilizado, foram compostas as Tabelas 10, 11, 12 e 13 onde estão dispostos os valores de vazão de cada emissor em Lh⁻¹, segundo uma linha de fluxo diferente, com a pressão inicial do sistema em 250 kPa.

Tabela 10. 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.

Variável	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
Emissor 1	51,870	205,698	53,840	243,912	54,950	240,61
Emissor 2	50,970	204,209	55,100	242,427	57,500	240,29
Emissor 3	56,700	202,745	56,720	240,967	60,050	239,99
Emissor 4	54,200	201,307	55,570	239,534	57,240	239,71
Emissor 5	53,410	199,894	55,850	238,128	57,100	239,45
Emissor 6	53,840	208,600	55,400	243,420	56,860	241,05
Emissor 7	52,470	210,140	53,920	241,802	54,930	240,96
Emissor 8	55,250	211,705	56,720	240,211	57,880	240,88
Emissor 9	55,780	213,297	54,550	238,647	55,460	240,82
Emissor 10	52,510	214,917	53,150	237,111	54,170	240,76
Emissor 11	53,370	224,924	54,100	243,715	55,930	241,83
Emissor 12	56,860	223,169	54,080	241,961	55,940	241,79
Emissor 13	51,990	221,443	53,300	240,235	53,750	241,75
Emissor 14	52,770	219,744	54,290	238,535	54,700	241,73
Emissor 15	54,870	218,071	54,110	236,863	55,280	241,70
Emissor 16	54,340	228,340	54,520	244,598	54,980	242,92
Emissor 17	56,430	230,150	56,040	242,702	55,510	242,79
Emissor 18	57,000	231,990	56,830	240,835	56,790	242,68
Emissor 19	54,130	233,859	53,820	238,997	54,170	242,58
Emissor 20	52,130	235,757	53,630	237,188	53,760	242,49
Emissor 21	55,630	247,458	56,400	247,458	55,870	244,74
Emissor 22	59,370	245,408	57,450	245,409	56,490	244,27
Emissor 23	57,020	243,391	58,050	243,391	57,520	243,82
Emissor 24	55,580	241,404	56,540	241,404	56,390	243,39
Emissor 25	57,970	239,448	57,420	239,448	57,540	242,99
Totalização	1366,5		1381,4		1400,8	

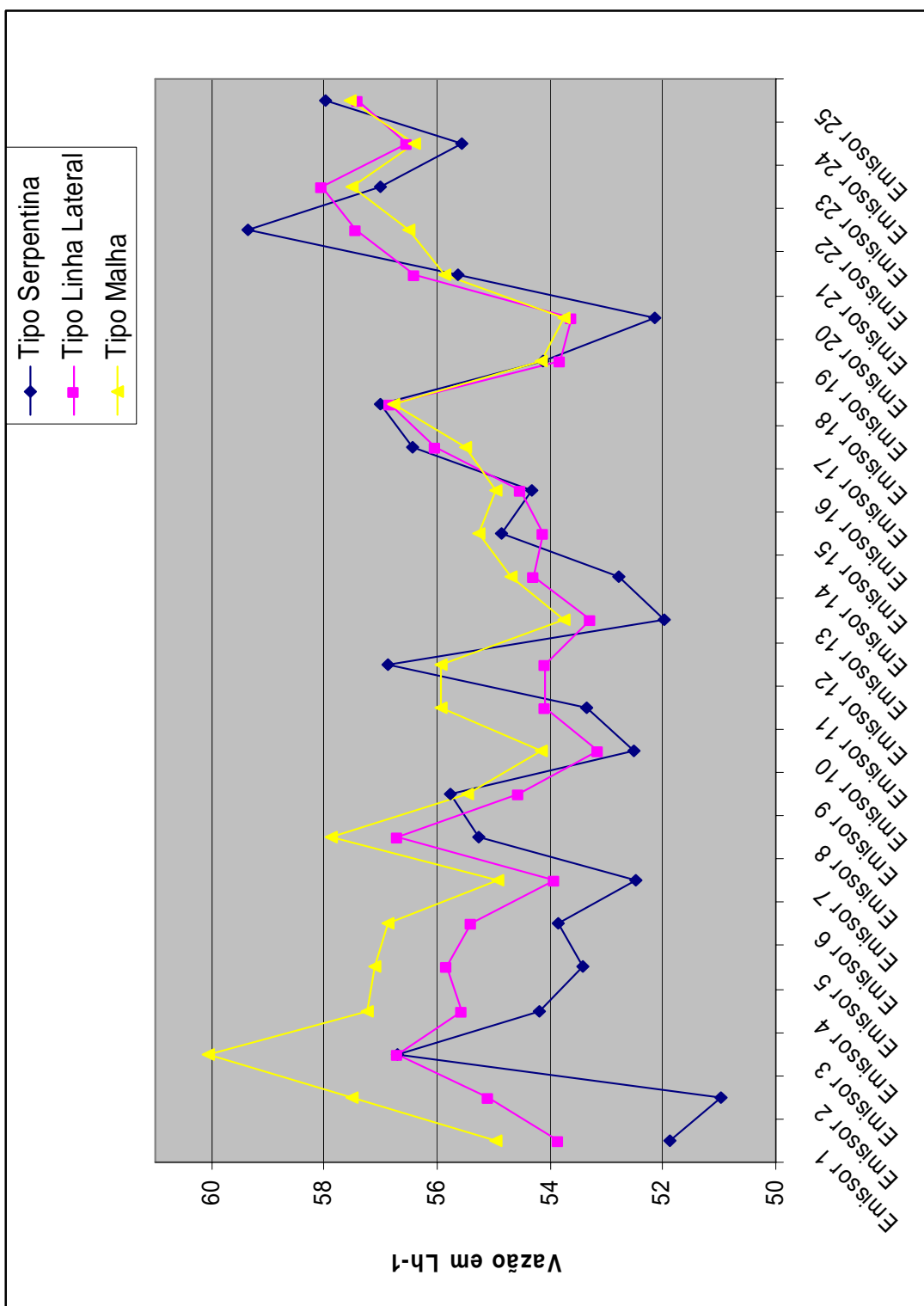


Gráfico 4. Vazões conforme o posicionamento dos emissores em cada tipo de sistema, para o microaspersor Amanco não compensante.

Tabela 11. Valores de pressão e vazão em cada Emissor, da marca Azud não compensante, para o teste em todos os sistemas com pressão inicial de 250kPa, e a totalização da vazão do sistema.

Pressão inicial de 250 kPa						
Variável	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
Emissor 1	40,327	210,785	44,020	243,490	43,600	238,220
Emissor 2	41,547	209,182	44,020	241,896	43,830	237,870
Emissor 3	41,427	207,600	43,950	240,323	43,830	237,530
Emissor 4	41,380	206,037	43,520	238,771	43,430	237,210
Emissor 5	41,793	204,495	44,130	237,241	44,050	236,910
Emissor 6	42,433	212,408	43,410	243,088	44,730	238,690
Emissor 7	42,213	214,052	43,600	241,382	43,980	238,600
Emissor 8	43,053	215,717	46,370	239,698	46,690	238,510
Emissor 9	51,993	217,403	43,900	238,038	44,250	238,440
Emissor 10	42,607	219,116	45,870	236,399	44,720	238,370
Emissor 11	42,647	227,987	42,550	243,510	43,640	239,520
Emissor 12	46,527	226,168	44,870	241,692	44,770	239,480
Emissor 13	43,400	224,373	43,470	239,898	43,560	239,450
Emissor 14	42,160	222,601	42,450	236,376	42,450	239,420
Emissor 15	32,580	220,850	43,890	238,126	43,670	239,400
Emissor 16	44,347	229,828	44,830	244,508	44,920	240,670
Emissor 17	43,260	231,693	43,410	242,574	43,340	240,550
Emissor 18	45,453	233,580	44,270	240,664	44,130	240,440
Emissor 19	43,867	235,491	45,080	238,777	45,170	240,330
Emissor 20	44,413	237,425	45,230	236,913	44,810	240,240
Emissor 21	44,660	247,458	44,620	247,458	44,640	242,560
Emissor 22	45,327	245,402	45,980	245,402	47,010	242,080
Emissor 23	45,773	243,371	45,390	243,372	45,210	241,620
Emissor 24	44,373	241,365	44,580	241,366	44,180	241,190
Emissor 25	44,473	239,383	45,160	239,384	44,870	240,770
Totalização	1082,03		1108,57		1109,48	

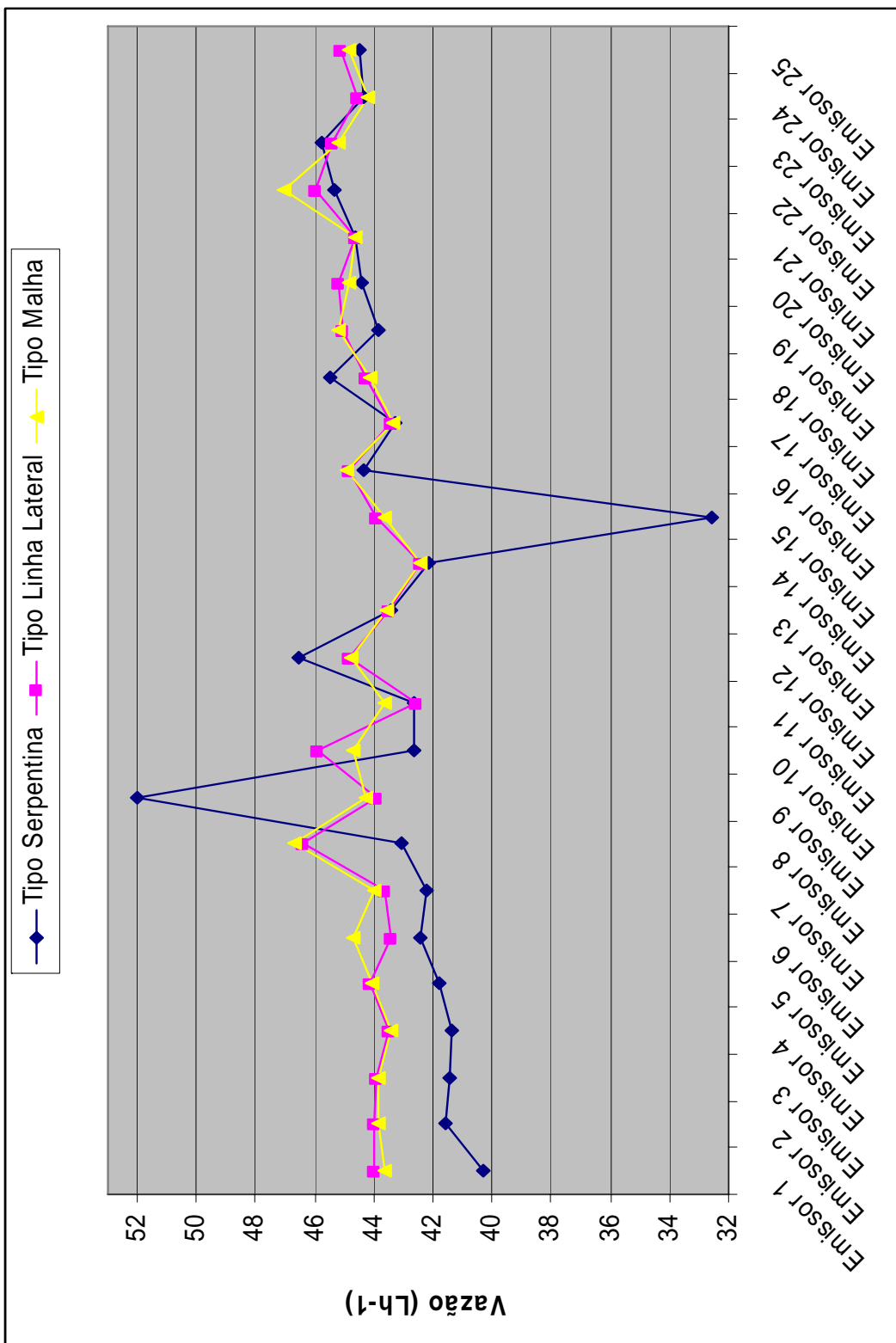


Gráfico 5. Vazões conforme o posicionamento dos emissores em cada tipo de sistema, para o microaspersor Azud não compensante.

Tabela 12. Valores de pressão e vazão em cada Emissor, da marca Naandan não compensante, para o teste em todos os sistemas com pressão inicial de 250kPa, e a totalização da vazão do sistema.

Variável	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
Emissor 1	40,327	204,225	44,020	243,565	44,527	238,230
Emissor 2	41,547	202,622	44,247	241,989	44,000	237,880
Emissor 3	41,427	201,040	43,840	240,434	44,527	237,550
Emissor 4	41,380	199,478	43,487	238,901	43,713	237,230
Emissor 5	41,793	197,350	43,907	237,388	44,807	236,940
Emissor 6	42,433	207,336	44,360	243,148	44,953	238,690
Emissor 7	42,213	208,979	44,267	241,457	44,840	238,600
Emissor 8	43,053	210,644	45,607	239,789	46,760	238,510
Emissor 9	46,070	212,331	52,747	238,143	50,267	238,440
Emissor 10	42,607	214,043	44,400	236,523	44,940	238,370
Emissor 11	42,647	224,504	44,173	243,534	44,320	239,520
Emissor 12	46,527	222,686	49,420	241,723	50,400	239,480
Emissor 13	43,400	220,891	47,107	239,939	47,733	239,440
Emissor 14	42,160	219,118	43,667	238,179	44,040	239,390
Emissor 15	46,930	217,367	49,280	236,441	49,620	239,410
Emissor 16	44,347	228,033	45,047	244,519	45,100	240,660
Emissor 17	43,260	229,898	45,433	242,589	46,547	240,540
Emissor 18	45,453	231,785	47,660	240,683	49,113	240,420
Emissor 19	43,867	233,696	44,787	238,803	45,113	240,320
Emissor 20	44,413	235,630	45,760	236,946	45,853	240,220
Emissor 21	44,660	247,458	46,560	247,458	46,493	242,540
Emissor 22	45,327	245,402	47,460	245,403	47,420	242,070
Emissor 23	45,773	243,371	48,353	243,374	49,153	241,610
Emissor 24	44,373	241,365	44,840	241,372	44,733	241,170
Emissor 25	44,473	239,383	45,573	239,394	45,880	240,750
Totalização	1090,46		1146,00		1154,85	

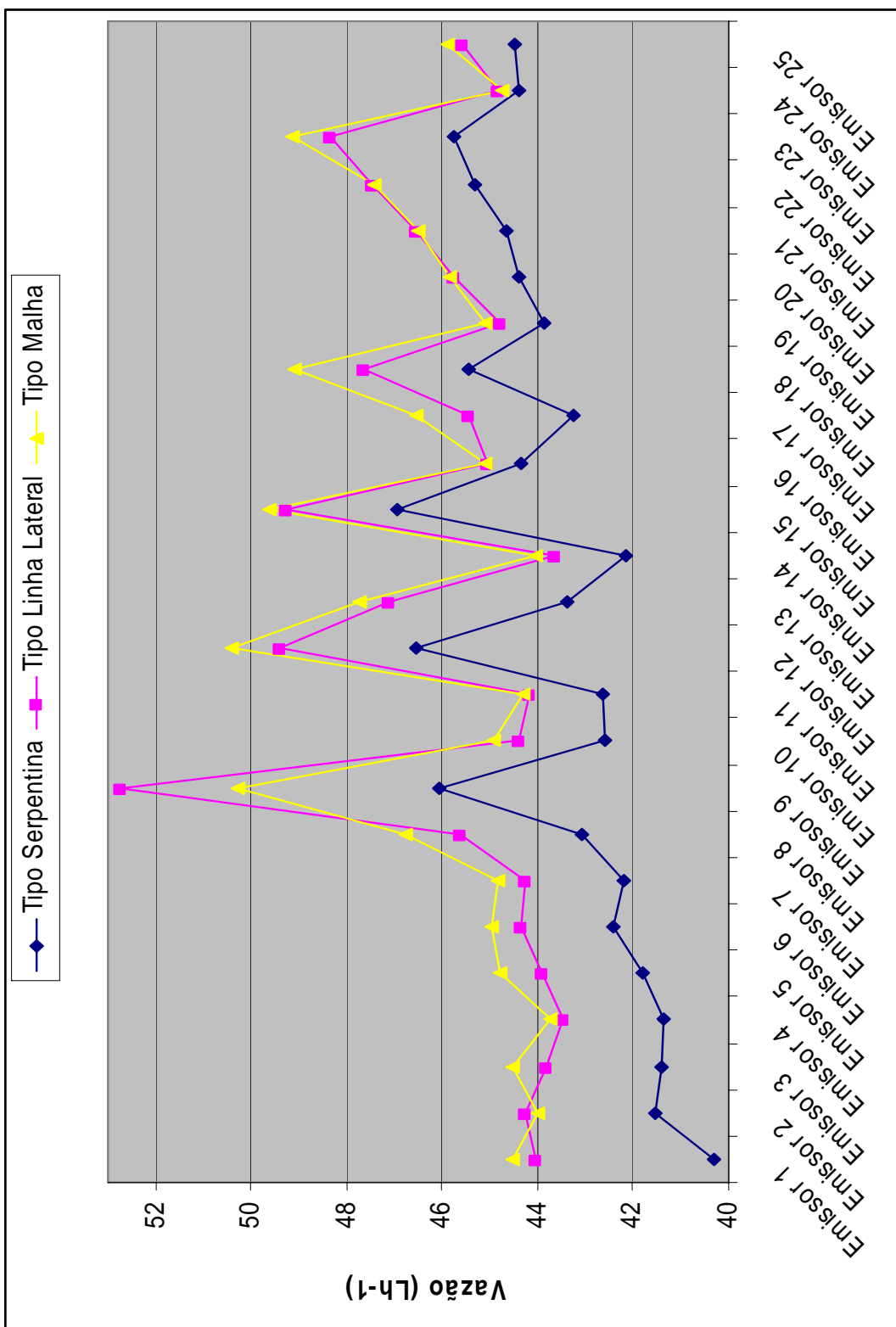


Gráfico 6. Vazões conforme o posicionamento dos emissores em cada tipo de sistema, para o microaspersor Naandan não compensante.

Tabela 13. Valores de pressão e vazão em cada Emissor, da marca Naandan, para o teste em todos os sistemas com pressão inicial de 250kPa, e a totalização da vazão do sistema.

Variável	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
Emissor 1	33,490	202,950	34,620	243,083	34,535	243,090
Emissor 2	35,660	201,249	34,285	241,383	34,700	241,710
Emissor 3	33,955	199,565	34,110	239,700	34,190	240,350
Emissor 4	33,485	197,898	33,730	238,034	33,750	238,000
Emissor 5	32,620	196,249	34,270	236,386	34,345	240,670
Emissor 6	34,775	206,244	34,675	242,783	34,650	242,590
Emissor 7	32,952	207,980	32,505	240,996	32,655	241,490
Emissor 8	32,986	209,732	34,685	239,227	34,845	240,400
Emissor 9	32,565	211,503	32,495	237,475	32,765	238,320
Emissor 10	34,965	213,290	35,330	235,740	35,155	238,240
Emissor 11	33,130	224,141	33,460	243,326	33,190	242,460
Emissor 12	33,970	222,267	33,890	241,451	34,410	241,420
Emissor 13	34,120	220,410	34,660	239,595	34,735	239,380
Emissor 14	32,125	218,571	32,915	237,756	32,750	239,330
Emissor 15	32,850	216,749	32,845	235,935	32,925	239,350
Emissor 16	34,620	227,767	34,465	244,430	34,135	240,640
Emissor 17	34,520	229,678	35,200	242,463	35,325	242,520
Emissor 18	35,020	231,607	35,150	240,516	35,365	240,410
Emissor 19	33,250	233,555	34,920	238,586	34,955	240,300
Emissor 20	35,065	235,522	35,165	236,676	35,030	240,200
Emissor 21	34,530	247,458	35,330	247,458	35,050	242,550
Emissor 22	35,230	245,397	34,825	245,397	34,045	242,070
Emissor 23	35,965	243,355	36,135	243,355	36,050	241,620
Emissor 24	33,160	241,332	33,500	241,333	33,740	241,170
Emissor 25	34,010	239,328	34,330	239,330	34,240	240,740
Totalização	849,02		857,495		857,535	

Utilizou-se o software MINITAB versão 7.0 para tratamento dos dados e averiguação de igualdade entre sistemas testados, uma vez que os dados de vazão e pressão foram recolhidos de pontos espaciais iguais para todos os sistemas. Desta forma foram realizadas as aplicações de uma MANOVA, para cada marca. Onde o teste de hipótese: $H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ contra a alternativa $H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$, ao nível de significância de 5%, foi realizado e os resultados retirados do programa foram dispostos na Tabela 14.

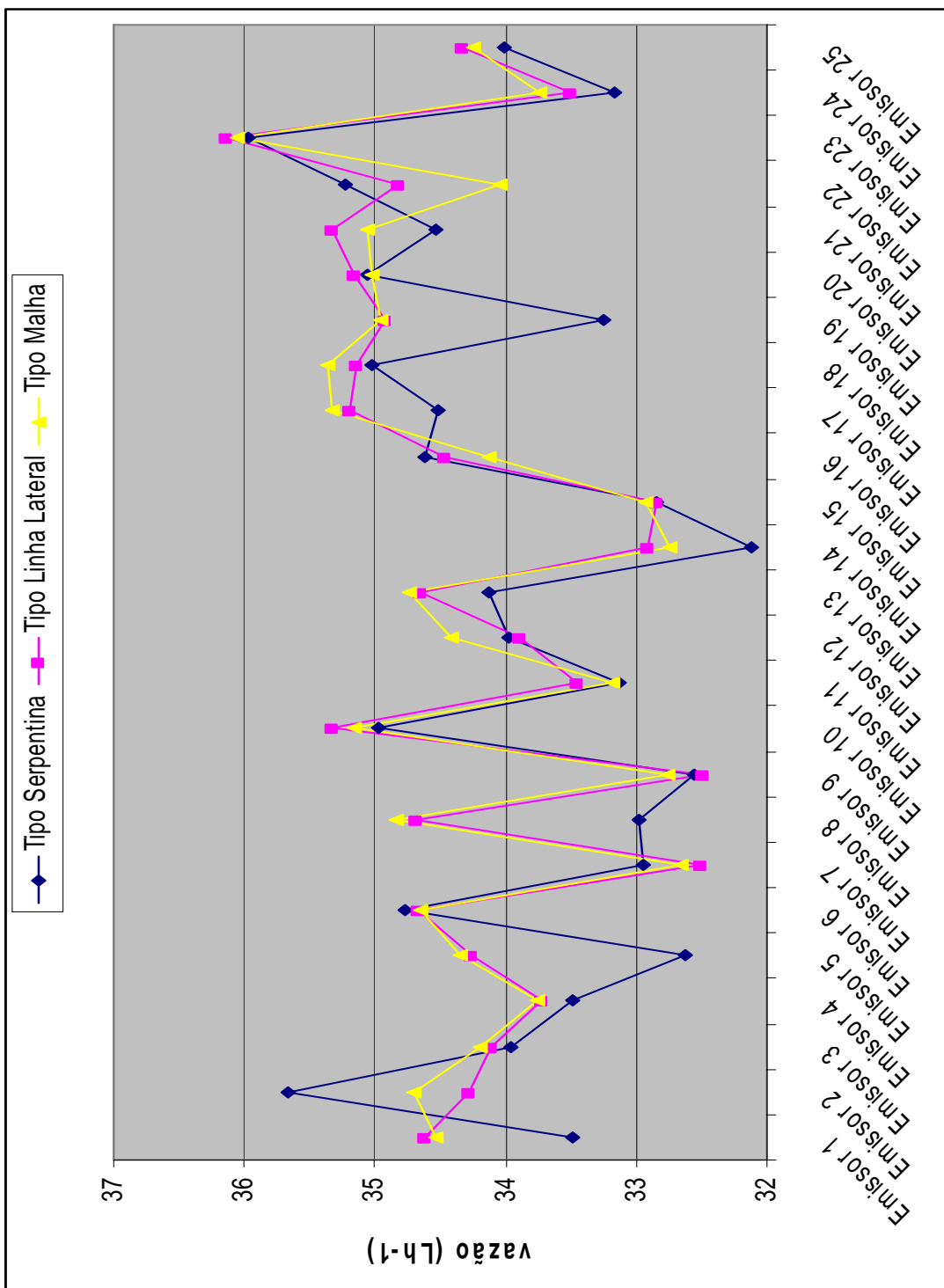


Gráfico 7. Vazões conforme o posicionamento dos emissores em cada tipo de sistema, para o microaspersor Naandan autocompensante.

Os gráficos 4, 5, 6 e 7 demonstram claramente a comparação entre os três sistemas em relação ao fluxo em cada microaspersor, podendo desta maneira analisá-los por setores.

No Gráfico 4, o tipo Linha Lateral e tipo Malha são muito semelhantes e diferem sua distribuição em relação ao tipo Serpentina, sendo que as médias do tipo Malha são superiores, indicando maior volume escoado.

Tabela 14 – Resultados recolhidos do programa Minitab versão 7 para a hipótese de igualdade entre os sistemas.

		Amanco	Azud	Naandan	Naandan
Modelo		Não Compensante	Não Compensante	Não Compensante	Auto Compensante
Tipo Serpentina	Vetor média (Q em Lh-1 e P em kPa)	(54.6584, 222.2827)	(43.2813, 224.9508)	(43.6184, 221.5454)	(33.9607, 220.9519)
Tipo Linha Lateral		(55.2560, 241.1559)	(44.3428, 240.8138)	(45.8401, 240.8678)	(34.2998, 240.4966)
Tipo Malha		(56.0304, 241.8396)	(44.3792, 239.5228)	(46.1941, 239.5192)	(34.3014, 240.7608)
Estatística do teste	F	17.2533	13.2218	15.2924	14.8544
	p	1.4814e-011	3.5049e-009	2.0150e-010	3.6551e-010
Hipótese	H ₀	Rejeita-se	Rejeita-se	Rejeita-se	Rejeita-se

Como o valor $p \ll 0.05$ para todas as amostras, rejeita-se H_0 e isto significa que a estatística é \gg teórico, e portanto rejeita-se hipótese nula ao nível de significância de 5%. Pode-se afirmar, já que p é muito pequeno ($p \ll 0,01$), que este resultado é altamente significativo.

A rejeição de H_0 indica que pelo menos uma das médias é diferente das demais, como observado na Tabela 14.

Pode-se observar também que existe semelhança entre as médias do Tipo Malha e do Tipo Linha Lateral.

Ainda em relação aos emissores e as tubulações foram inspecionados criteriosamente e não se verificou, a olho nu (Segundo a norma da ABNT), nenhum problema de deformidade ou alteração nos mesmos, levando a concluir que os dados retirados e que variam do valor esperado, devem-se ao fato de haver menor ou maior resistência ao fluxo da

água nestes aparelhos por diferenças no tamanho do Emissor (erro ou falha no processo de fabricação).

A hipótese de entupimento temporário, falha na coleta foi descartada uma vez que os microaspersores não foram mudados de lugar durante toda a bateria de ensaios e a regressão linear feita sobre os dados indicou valores de R^2 acima de 95% (Tabelas 6, 7, 8 e 9), o que indica um resultado bastante satisfatório sobre a coleta destes dados.

Os dados da Tabelas 6, 7, 8 e 9, podem ser analisados de duas formas distintas, a primeira é compondo a somatória de todas as vazões coletadas pela bancada em cada sistema e a outra é analisando Emissor por Emissor em cada situação.

Ao analisarmos os valores de cada Emissor em cada sistema, estamos analisando a influência direta do sistema sobre os bocais, visto que o posicionamento espacial do microaspersor não se altera mais o fluxo e a ordem de abastecimento do mesmo, são alterados pela característica do sistema. Pode-se observar também os valores de pressão em cada entrada de microaspersor, que variam sistematicamente nos sistemas do Tipo Serpentina e do Tipo Linha Lateral, e a homogeneidade para o sistema de malha.

Para o microaspersor Amanco não compensante, podemos dizer que quando composta a somatória das vazões em cada sistema, tem-se que os maiores valores adquiridos resultam do sistema de distribuição em malha, e este difere em 1,4% superior comparado com o sistema em linha lateral e 2,51% maior que o sistema em serpentina. Os valores de composição em somatória são válidos para análise, pois por meio dos mesmos os valores discrepantes são reduzidos dentro da soma tendo em vista a ordem de grandeza de cada um deles.

Para o microaspersor Azud não compensante, podemos dizer que quando composta a somatória das vazões em cada sistema, tem-se que os maiores valores adquiridos resultam do sistema de distribuição em malha, e não possui diferença significativa, comparado com o sistema em linha lateral e 2,47% maior que o sistema em serpentina.

Para o microaspersor Naandan não compensante, podemos dizer que quando composta a somatória das vazões em cada sistema, tem-se que os maiores valores adquiridos resultam do sistema de distribuição em malha, e possui diferença de 0,77% comparado com o sistema em linha lateral e 5,9% maior que o sistema em serpentina.

Para o microaspersor Naandan auto compensante, podemos dizer que quando composta a somatória das vazões em cada sistema, tem-se que os maiores valores adquiridos resultam do sistema de distribuição em malha, e possui diferença de 0,77% comparado com o sistema em linha lateral e 5,9% maior que o sistema em serpentina.

As perdas de carga em cada sistema para o microaspersor Amanco não compensante, foram representadas nos gráficos 5, 6 e 7, segundo seu posicionamento espacial, sendo de fácil observação o ganho de pressão do sistema em malha.

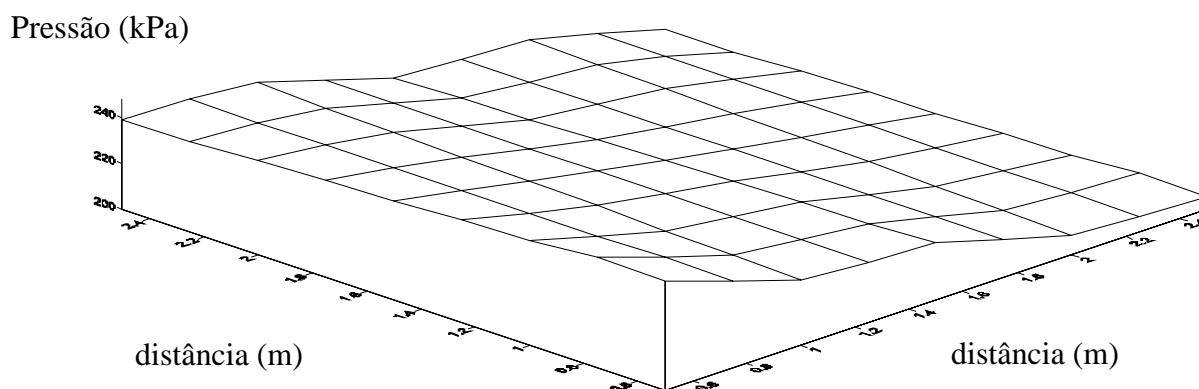


Gráfico 5. Pressões disponíveis nos emissores por distância malha de (0,5 em 0,5 m) dos microaspersores para o teste no sistema S.

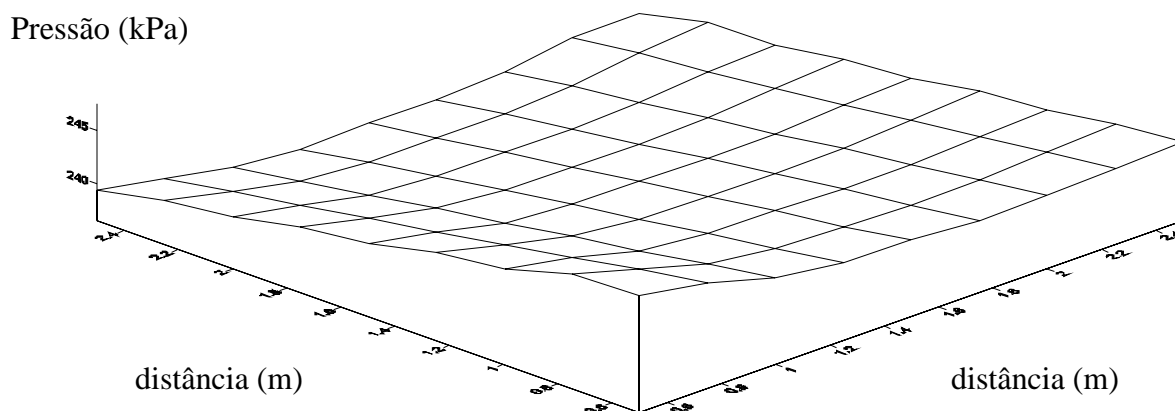


Gráfico 6. Pressões disponíveis nos emissores por distância malha de (0,5 em 0,5 m) dos microaspersores para o teste no sistema Linha Lateral.

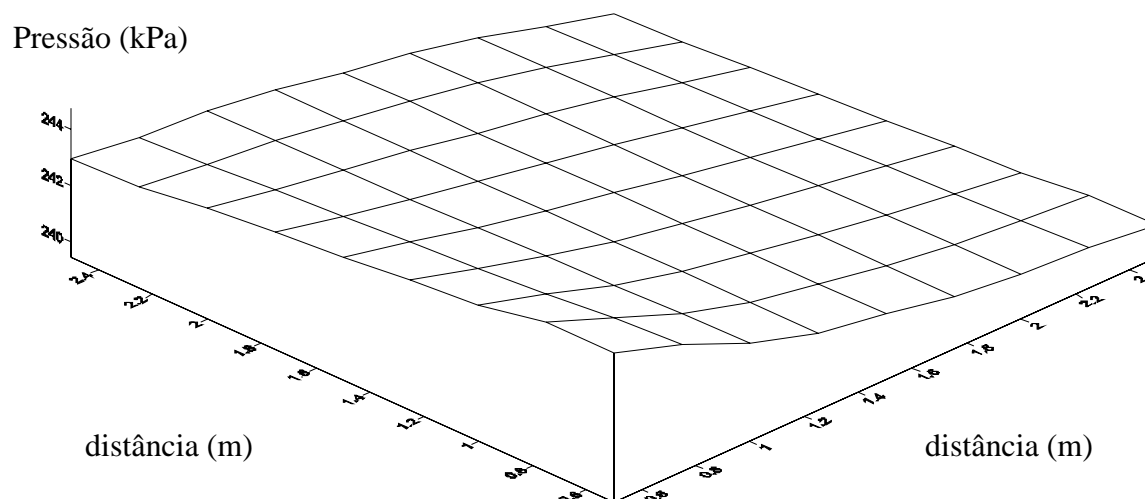


Gráfico 7. Pressões disponíveis nos emissores por distância malha de (0,5 em 0,5 m) dos microaspersores para o teste no sistema Malha.

Os gráficos de pressões disponíveis nos outros microaspersores não apresentaram diferenças em relação ao microasporador estudado.

Como a variabilidade seria a mesma para todos os sistemas, foi realizada a somatória da vazão recolhida de todo o sistema, para efeitos de comparação entre os métodos, e as leituras retiradas da bancada tiveram os resultados totais descritos na Tabela 18.

Tabela 15. Somatória das vazões de cada marca de microasporador em cada sistema.

Tipo	S	Linha	Malha
Amanco	1366,46	1378,4	1400,76
Azud	1085,05	1108,57	1109,48
Naandan	1082,033	1146,001	1159,853
Naandan Auto	849,02	857,495	857,535

Como se pode observar os dados retirados apontam que os microaspersores não compensantes, Amanco, Azud e Naandan, tiveram valores crescentes em relação à vazão coletada nos sistemas de distribuição em serpentina, em linha lateral e em malha respectivamente. Tais valores eram previstos devido a maior perda de carga no sistema por serpentina e a menor perda no sistema em malha.

6.1 Considerações finais

As perdas de carga oriundas da tubulação e conexões são insignificantes em relação a perda de vazão de cada microaspersor, dentro deste experimento.

Concordando com Keller e Karmeli (1974) e Sampaio et al (1996), pode se verificar a desuniformidade da vazão, causada pela perda de carga ao longo da linha e pela vazão retirada de cada emissor, influenciando diretamente os emissores.

O sistema tipo malha, embora mais oneroso, por possuir uma quantidade maior de tubulações e conexões, obteve maior uniformidade comparado com os sistemas Tipo Serpentina e Tipo Linha Lateral, assim como descreveu Pizzarro (1990) e Azevedo Neto (2000).

O coeficiente de variação de fabricação independeu da pressão utilizada, conforme relatou Abreu et al (1997), visto que a variação de fabricação foi realizada por meio de uma regressão de análise multivariada, retirada da fórmula de curva de tendência com R^2 acima de 90% e confrontada com a fórmula de CVf descrita por Solomon (1979)

O coeficiente de variação de fabricação foi considerado bom para os 4 tipos de emissores testados, conforme classificação da ABNT.

A equação que determina a linha de tendência de cada microaspersor foi representada por um modelo de equação potencial, sugerido por Botrel (1984), caixeta (1991) e Olitta (1987), e os valores de R^2 foram acima de 90%, demonstrando ótimo ajuste aos dados obtidos.

As maiores perdas de carga se caracterizaram no início do sistema, onde a perda de carga é influenciada pelo diâmetro e vazão na secção da tubulação, tornando-se mais homogênea no decorrer do sistema, assim como cita Bomam (2006).

A perda de carga maior no início do sistema, sugere um desgaste maior nos bocais localizados nesta região, levando-os a uma substituição prematura em relação aos demais.

Os microaspersores auto compensantes da marca Naandan tiveram resultados semelhantes em relação a vazão recolhido pelos três tipos de sistema dentro de um intervalo de confiança de 95%, conforme descrito pelo fabricante.

Sobre a comparação entre os valores finais dos microaspersores da marca Azud e Naandan, pode-se observar valores muito próximo entre si, já que segundo os dados do fabricante os dois possuem a mesma vazão para pressão de trabalho.

As variações de vazão captada se localizaram entre os modelos de linha lateral e malha para o do Tipo Serpentina, estes valores também eram esperados devido ao maior comprimento da linha de distribuição e a interdependência entre vazão de cada microaspersor para com o próximo, fato este que embora nos outros métodos também havia interdependência a mesma era diminuída devido ao comprimento da linha e a compensação de pressão por direcionamento múltiplo do fluxo.

Ainda sobre a Tabela 18, temos os dados coletados sobre o microaspersor Naandan Auto-compensante, no qual mostrou invariável estatisticamente em relação ao tipo de sistema utilizado, como a função do mesmo estabelece.

A bancada se comportou como esperado, dando subsídios para testes em microaspersores, de maneira rápida e precisa, sendo que pode-se testar 25 microaspersores ao mesmo tempo, estando ele em qualquer configuração do sistema, pode-se ainda variar o posicionamento da parcela irrigada e testar se essa opção mantém ou altera as vazões de microaspersores.

Cabe como sugestão para novos trabalhos:

- Teste de outros microaspersores utilizados no país;
- Testes com microaspersores com bocais de diâmetro maiores;
- Implantação de células de carga , a fim de verificação da variação de vazão ao longo do tempo;
- Teste com microaspersores variando a vazão de entrada no sistema;
- Teste com microaspersores usados e comparação com os valores retirados de emissores novos;

- Implantação de sistema eletromecânico para aberturas de válvulas e início do sistema;

8. Conclusões.

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%.

O coeficiente de variação de fabricação, para os 04 microaspersores foi considerado bom, segundo a classificação da ABNT.

O microaspersor Amanco não compensante obteve um CVf de 4,14%.

O microaspersor Azud não compensante obteve um CVf de 2,29%.

O microaspersor Naandan não compensante obteve um CVf de 2,86%.

O microaspersor Naandan auto compensante obteve um CVf de 2,84%.

As maiores perdas de carga localizaram-se no início do sistema.

Os micropaseroses Naandan auto compensante não variaram a vazão nos três tipos de sistemas estudados, dentro de um intervalo de 95% de confiança.

Os microaspersores Azud e Naandan tiveram valores muito próximos, por possuírem vazão e pressão de trabalho iguais segundo o fabricante.

9. Referência Bibliográfica.

ABREU, J.M., LOPES, J.R., REGALADO, A.P. et al. **El riego localizado**. Madrid: Instituto Nacional de Investigaciones Agrárias, 1987. 317p

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

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Standars engineering practices data**: EP405.1 design and instalation of microirrigation systems. St. Joseph, 1995. p.720- 3.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Irrigação localizada – Microaspersores – Requisitos gerais e método de ensaio**: projeto 04:015.08-015. São Paulo, 1986. 6p.

AZEVEDO NETTO, J. M. de. **Manual de hidráulica**. 8.ed. São Paulo: E. Blucher, 2000. 669p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. ed. Viçosa: UFV, 1989. 596p.

BOMAN B.; SHUKLA, S. **Hydraulic Considerations for Citrus Microirrigation Systems**.

Disponível em: <http://edis.ifas.ufl.edu/CH156>, acesso em: 25 set. 2006.

BOTREL, T. A. **Hidráulica de microgotejadores e de linhas laterais para irrigação localizada**. Piracicaba: ESALQ, 1984. 78p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia).

CAIXETA, A. V. **Perda de carga em tubos e conexões de PVC utilizados em sistemas Portáteis de irrigação por aspersão**. Piracicaba: ESALQ, 1991. 115p. (Dissertação - Mestrado em Agronomia).

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

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1997. 390p.

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

KARMELI, D; Peri, G; Todes, M. A model for sprinkler nozzle replacement. **Transaction of the ASAE**, St. Joseph, v.25, n.5, p.1284-1289, 1982.

KEMPER, K.E. **Alocação e uso dos recursos hídricos no Vale do Curu, Ceará, Nordeste Brasileiro. O custo da água gratuita**. 1997. 152p. Linkoping Studies in Arts and Science .

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.

OLIVEIRA, R. A. de; TAGLIAFERRE, C. DENÍCULI, W.; CECON, P. R. Suscetibilidade ao entupimento de microaspersor operando com água residuária de suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n.1, 33-40, Jan/Mar., 2005.

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

PORTO, R.M. **Hidráulica básica**. São Carlos: EESC-USP. 1998. 540p.

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

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

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

WERNECK, J.E.F.L.; FERREIRA, R.S.A.; CHRISTOFIDIS, D. **O estado das águas no Brasil. Perspectivas de gestão e informação de recursos hídricos**. Geneva: Organização Meteorológica Mundial. 1999, 334p.

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