

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE
UM PROTÓTIPO DE FILTRO DE TELA
AUTOLIMPANTE**

GUSTAVO ALVARENGA RODRIGUES

2006

GUSTAVO ALVARENGA RODRIGUES

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE
FILTRO DE TELA AUTOLIMPANTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador:

Prof. Dr. Luiz Antônio Lima

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL

2006

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Rodrigues, Gustavo Alvarenga

Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de filtro de tela auto-limpante /
Gustavo Alvarenga Rodrigues. -- Lavras: UFLA, 2006.
39 p.: il.

Orientador: Luiz Antônio Lima.
Dissertação (Mestrado) – UFLA.
Bibliografia.

1. Filtros. 2. Filtros de tela. 3. Auto-limpante. 4. Protótipos. I. Universidade
Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.587

GUSTAVO ALVARENGA RODRIGUES

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE
FILTRO DE TELA AUTO-LIMPANTE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 10 de novembro de 2006.

Prof. Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira

UFGO

Prof. Dr. Alberto Colombo

UFLA

Prof. Dr. Luiz Antônio Lima

UFLA

(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS - BRASIL

Aos meus pais, Almir Alves Rodrigues e Maria
Ângela Alvarenga Rodrigues, e à minha avó
Clarita Alves Rodrigues, pelo eterno incentivo e
confiança em meu potencial,

OFEREÇO,

Aos mestres, Swami Sarvânanda (Georg
Kritikos) e Sri Swami Sevananda (Leo Álvares
Costet de Mashewile), ambos *in memoriam*, por
formatarem meu estilo de vida; ao Lucas, Ana
Carolina e Gabriela, meus sobrinhos,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida.

Ao meu pai, Almir Alves Rodrigues, não só pelo incentivo, mas também pela ajuda na parte técnica e fabricação dos protótipos.

À minha mãe, Maria Ângela Alvarenga Rodrigues, pelas palavras de incentivo e compreensão nos momentos difíceis.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Dr. Luiz Antônio Lima, pela orientação, idéias, confiança, estímulo e apoio.

Aos professores Dr. Alberto Colombo e Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira pelas informações e sugestões concedidas a este trabalho.

A todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pelo conhecimento transmitido.

Aos colegas Samuel Beskow, Giuliani de Prado e Kátia Daniela Ribeiro, pelo auxílio durante o curso.

Ao funcionário Oswaldo Francisco de Carvalho (Laboratório de Hidráulica - DEG/UFLA), pela amizade, companheirismo e dedicação.

Aos amigos e colegas de curso, pela convivência amigável.

A todos aqueles que colaboraram de alguma forma para o cumprimento desta etapa da minha vida.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS	i
LISTA DE FIGURAS	ii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	03
2.1 Irrigação localizada	03
2.2 Qualidade da água de irrigação	04
2.3 Tratamento da água para irrigação	05
2.3.1 Pré-peneiramento	06
2.3.2 Separadores de areia	06
2.3.3 Tanques de areia	08
2.3.4 Hidrociclone.....	09
2.3.5 Telas tubulares	10
2.3.6 Telas de super-fluxo de gravidade	10
2.3.7 Filtro de disco	11
2.3.8 Bacias de sedimentação	12
2.4 Filtros de tela e suas características.....	13
2.5 Obstrução de emissores	18
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 Localização do experimento.....	22
3.2 Fabricação do modelo do filtro de tela auto-limpante.....	22
3.3 Fabricação dos protótipos	23
3.4 Ensaios dos protótipos	26

3.4.1 Resistência à pressão	27
3.4.2 Perda de carga	27
3.4.3 Capacidade de filtração dos protótipos	29
3.4.4 Eficácia do sistema de limpeza	29
4 RESULTADO E DISCUSSÃO.....	31
4.1 Resistência à pressão	31
4.2 Perda de carga.....	34
4.3 Capacidade de filtração dos protótipos e eficácia do sistema de limpeza	35
5 CONCLUSÕES	37
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	38

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 1. Números de <i>mesh</i> para padronização das telas dos filtros utilizados em sistemas de irrigação	15
TABELA 2. Risco potencial de entupimento pelo uso da água de irrigação	19
TABELA 3. Tratamentos analisados nos testes de perda de carga dos protótipos	29
TABELA 4. Coeficientes de regressão da função potencial ajustada a cada tratamento, com respectivos coeficientes de determinação (R^2).....	35

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. Sistema de pré-peneiramento de telas cilíndricas	07
FIGURA 2. Separadores de areia	07
FIGURA 3. Tanques de areia	08
FIGURA 4. Hidrociclone.	09
FIGURA 5. Filtro de discos	11
FIGURA 6. Bacias de sedimentação	12
FIGURA 7. Imagem ampliada de uma tela utilizada em filtros para irrigação.....	13
FIGURA 8. Perfurações e arranjos das placas utilizadas nos filtros para sistemas de irrigação	16
FIGURA 9. Partículas sólidas provocando obstrução do emissor...	20
FIGURA 10. Matéria orgânica agindo como agente cimentante das partículas sólidas	21
FIGURA 11. Modelo do filtro em PVC	22
FIGURA 12. Peças do modelo do filtro	22
FIGURA 13. Protótipos do filtro.....	23
FIGURA 14. Anel de vedação dos protótipos	24
FIGURA 15. Retentor do protótipo	24
FIGURA 16. Geometria retangular e frisada dos suportes de tela .	25
FIGURA 17. Manivelas do sistema de limpeza dos protótipos	25

FIGURA 18. Bancada de sustentação dos protótipos	26
FIGURA 19. Ensaio de perda de carga dos protótipos	28
FIGURA 20. Momento em que o retentor foi ejetado.....	31
FIGURA 21. Cap rompido	32
FIGURA 22. Momento da explosão.....	32
FIGURA 23. Bancada e protótipos após a explosão	33
FIGURA 24. Perda de carga do sistema de filtragem	34

RESUMO

RODRIGUES, Gustavo Alvarenga. **Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de filtro de tela autolimpante**. 2006. 39 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

Ensaio de resistência à pressão, perda de carga e capacidade de remoção de sólidos foram realizados em três protótipos de filtro de tela autolimpante fabricados em PVC, com o objetivo de avaliar e caracterizar o desempenho dos mesmos. Pelos resultados obtidos, pôde-se verificar que os protótipos operaram satisfatoriamente com pressões de serviço de até 750 kPa. A perda de carga não foi influenciada pelo tipo de suporte de tela e os protótipos apresentaram boa capacidade de filtração, com remoção de, aproximadamente, 90% dos sólidos. Os protótipos de filtro autolimpante apresentaram bom desempenho e fácil manutenção, atendendo não só aos interesses do produtor rural como também aos da indústria de tratamento de água em geral.

* Orientador: Luiz Antônio Lima - UFLA.

ABSTRACT

RODRIGUES, Gustavo Alvarenga. **Development and evaluation of an auto-cleaning screen filter prototype.** 2006. 39 p. Dissertation (Master Program in Agricultural Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, Minas Gerais, Brazil.*

Three auto-cleaning screen filter prototypes, made from PVC, were submitted to pressure, head loss and filtering capacity tests, in order to evaluate and characterize their performance. Results allowed to conclude that prototypes worked well with service pressures below to 750 kPa. Head loss values weren't influenced by screen support. Prototypes presented great filtering capacity, removing 90% of the water solids. The auto-cleaning screen filter prototypes presented great performance and simple maintenance. They can be used for both agricultural use and water treatment industries.

* Major Professor: Luiz Antônio Lima - UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A produção agrícola, em face da globalização, vem se tornando uma atividade empresarial, forçando produtores rurais a alcançarem altos índices produtivos, com máxima eficiência técnica e econômica. Por isso, empregam-se atualmente, diferentes e avançadas tecnologias, entre elas a irrigação localizada, que utiliza, para aplicar a água, microaspersores ou gotejadores, designados como emissores. Para manter o sistema de irrigação funcionando sem obstruções dos emissores é de suma importância a filtragem da água.

A obstrução dos emissores é o problema mais difícil de ser resolvido na operação de um sistema de irrigação localizada, sendo difícil detectar e muito caro para limpar ou substituir a tubulação e os emissores obstruídos (Keller & Bliesner, 1990).

Assim, o processo de filtragem é fundamental para que o produtor tenha menor gasto com a manutenção do sistema, aumentando consideravelmente a vida útil dos equipamentos envolvidos. A filtragem dos contaminantes, antes da sua entrada na tubulação que conduz a água aos emissores, é a principal defesa contra a obstrução causada por partículas minerais e matérias orgânicas.

A uniformidade de distribuição dos sistemas de irrigação está intimamente relacionada com a desobstrução de tubos e emissores. Bucks & Nakayama (1980) relatam que caso 17% dos emissores venham a entupir, a uniformidade de aplicação de água reduzir-se-á a valores menores que 25%. Desta maneira, deve-se manter a água em boas condições para irrigação.

Entre os vários tipos de filtros empregados, o filtro de tela tem se destacado, uma vez que os modelos lançados recentemente por indústrias americanas, espanholas, italianas e israelenses apresentam mecanismo de autolimpeza e grandes vazões.

Ressalta-se que a maioria dos filtros de tela autolimpante atualmente existentes no mercado são importados, gerando um percentual alto de evasão de divisas para o Brasil. Até o ano de 2006, apenas um fabricante existia no Brasil, produzindo esses filtros, porém, de alto custo.

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento e avaliação de um protótipo de filtro de tela autolimpante, fabricado em PVC, de fácil manutenção e baixo custo, para atender não só ao produtor rural como também ser aplicado na indústria de tratamentos de água em geral.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Irrigação localizada

Os sistemas de irrigação localizada caracterizam-se pela aplicação de água ao solo diretamente sobre a região radicular, em pequenas vazões (1 a 160 l.h⁻¹), porém, com alta frequência (turno de regra de um a quatro dias), de modo que a umidade do solo na zona radicular seja mantida próximo à capacidade de campo (Bernardo et al., 2005). Para isso, a aplicação da água é feita por meio de tubos perfurados com orifícios de diâmetros reduzidos ou por meio de gotejadores e microaspersores, denominados emissores, dos mais diferentes tipos, modelos e características.

A irrigação localizada é usada sob a forma de sistemas fixos, ou seja, constituídos de tantas linhas laterais quanto forem necessárias para suprir toda a área, não havendo, assim, movimentação de linhas laterais (Bernardo et al., 2005). Entretanto, somente um determinado número de linhas laterais funciona por vez, com a finalidade de não utilizar toda a capacidade do sistema de filtragem e de bombeamento.

Um sistema completo de irrigação localizada consta de um conjunto motobomba, estação de controle, tubulações (recalque, principal, secundária e lateral), válvulas e emissores (gotejadores ou microaspersores). O cabeçal de controle é o cérebro do sistema. Nele ocorrem vários processos fundamentais, tais como a filtragem da água, a mistura dos produtos para quimigação, a automação do sistema, a medição do volume de água aplicado e a distribuição da água para vários setores.

Entre as desvantagens dos sistemas de irrigação localizada, destacam-se o risco de entupimento dos emissores (principalmente para o gotejamento), a

exigência de filtragem altamente eficaz e o alto custo inicial. O risco de entupimento é considerado a principal desvantagem, uma vez que a água que chega ao solo deve passar por pequenos orifícios. Dessa forma, a utilização de água limpa e a presença de sistemas de filtragem são fundamentais. O entupimento pode ocorrer não só devido à presença de sólidos suspensos, mas também devido à precipitação e sedimentação de sais dentro dos emissores. Uma vez entupido um emissor, dificilmente ele será recuperado (Faria, 2000).

Na irrigação localizada, o gotejamento e a microaspersão são os sistemas mais difundidos. No gotejamento são utilizados emissores de menor vazão, na faixa de 2 a 10 l.h⁻¹. Na microaspersão, utilizam-se emissores com vazões situadas na faixa de 20 a 150 l.h⁻¹.

2.2 Qualidade da água de irrigação

A irrigação localizada não deve ser considerada apenas como uma nova técnica para suprimento de água às culturas, mas como parte integrante de um conjunto de práticas agrícolas sob condições controladas de umidade de solo, adubação, entre outras, de modo que se obtenham efeitos significativos na produção por área e por água consumida, assim como na época da colheita e na qualidade do produto (Bernardo et al., 2005).

A causa mais freqüente da desuniformidade de aplicação de água nos sistemas de irrigação localizada é o entupimento dos emissores, causado por água de má qualidade. Portanto, é certo que a água não pode conter impurezas. Por isso, é preciso tratá-la.

O sucesso da agricultura irrigada encontra-se dependente não só da quantidade como da qualidade da água. Todavia, a qualidade da água muitas vezes não é avaliada nem considerada como fator preocupante, visto que, no passado, as fontes de água eram consideradas abundantes, de boa qualidade e de

fácil utilização. Entretanto, a expansão da agricultura irrigada e a implantação de novos projetos fizeram com que águas de menor qualidade viessem a ser utilizadas para suprir o aumento da demanda (Soccol, 2003).

Para Ayers & Westcot (1991), o conceito de qualidade da água está associado às características que podem afetar a adaptabilidade para uso específico, em outras palavras, à relação entre a qualidade da água e as necessidades do usuário. Dessa forma, para que a água seja considerada como de qualidade, são avaliados os efeitos de sua utilização, de forma a produzir os melhores resultados ou causar os menores problemas (Soccol, 2003).

A qualidade da água é avaliada segundo características físicas, químicas ou biológicas. Com relação aos parâmetros físicos, a quantidade de sedimentos presentes na água de irrigação irá definir o bom desempenho do sistema, sendo que, quando elevadas concentrações de sedimentos são observadas, a irrigação localizada requer um sistema de filtragem que assegure um desempenho confiável (Soccol, 2003).

Para Gilbert & Ford (1986), o tipo e a quantidade de impurezas presentes na água de irrigação irão ditar o tratamento necessário para a prevenção do entupimento de emissores. A filtragem da água é, para a maioria dos casos, absolutamente essencial.

2.3 Tratamento da água para irrigação

Sais dissolvidos, sedimentos suspensos, nematóides e outros agentes infecciosos são contaminantes que podem estar presentes na água de irrigação. Estes contaminantes podem causar efeitos adversos aos sistemas de irrigação localizada, principalmente o entupimento de emissores. Dessa forma, uma vez verificada a presença de contaminantes, é essencial que medidas de prevenção

sejam tomadas, tais como a implantação de filtros adequados, para que a eficaz remoção dos mesmos seja garantida (Lopez, 1998).

Material suspenso na água de irrigação pode causar o mau funcionamento de medidores de vazão, válvulas, engates de tubos, comportas, entre outros. Um bom manejo da água de irrigação requer um completo controle da água derivada (Keller & Bliesner, 1990).

Existem vários métodos para o tratamento da água utilizada na irrigação, que vão desde a decantação até a filtração. Burt & Styles (1994) apresentam os tipos básicos de filtração que são usados na irrigação agrícola para remoção de sólidos, descritos a seguir.

2.3.1 Pré-peneiramento

O pré-peneiramento (Figura 1) remove contaminantes maiores, como folhas, peixes, etc., que poderiam causar entupimento nos filtros. Como exemplos, podemos citar as telas do tipo correia giratória e as telas cilíndricas autolimpantes para entrada de bombas.

2.3.2 Separadores de areia

Os separadores de areia (Figura 2) removem a areia por meio da ação centrífuga. Se forem dimensionados corretamente, as taxas de fluxo permanecerão relativamente constantes. Estes modelos são fabricados para estarem localizados antes ou após as bombas.



FIGURA 1. Sistema de pré-peneiramento de telas cilíndricas (Fonte: Claude Laval Corporation).

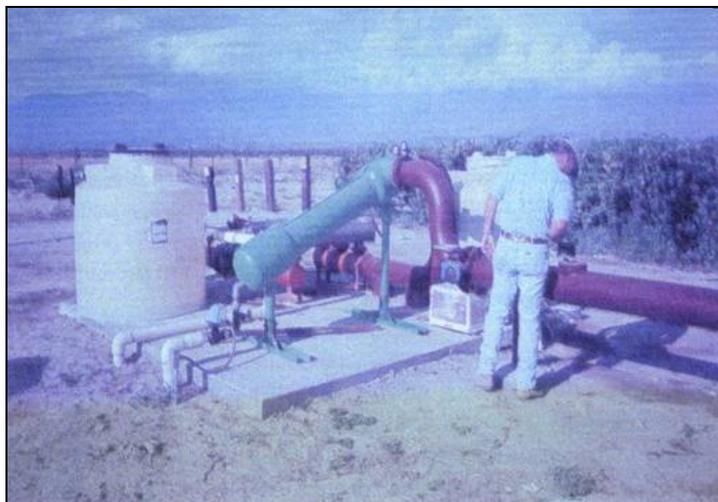


FIGURA 2. Separadores de areia (Fonte: Claude Laval Corporation).

2.3.3 Tanques de areia

Os tanques de areia são constituídos de um reservatório metálico preenchido com areia, em que altas taxas de fluxo são passadas através destes tanques (Figura 3) para remover grandes volumes de contaminantes orgânicos e inorgânicos.



FIGURA 3. Tanques de areia (Fonte: Catálogo Odis).

O tamanho dos grãos de areia usado nos tanques é dimensionado para proporcionar o grau necessário de filtração. Controladores automáticos determinam ciclos de retrolavagem baseados no tempo transcorrido ou no diferencial de pressão nos tanques, que tende a aumentar com a retenção de impurezas.

Keller & Bliesner (1990) comentam que os tanques de areia são utilizados, principalmente, para reter cargas pesadas de areia muito fina e material orgânico.

Os tanques de areia são muito efetivos para filtrar material orgânico porque podem coletar os contaminantes através da camada de areia, acumulando

grandes quantidades de algas. Gilbert & Ford (1986) afirmam que os filtros de areia não são facilmente entupidos por algas, podendo remover relativamente uma grande quantidade de sólidos suspensos, antes que a limpeza seja necessária. Porém, eles podem oferecer condições favoráveis à proliferação de bactérias. São normalmente, usados para reter partículas com tamanho de 25 a 100 μm . Phillips (1995) comenta que os filtros de areia são indicados em situações em que há alta concentração de material inorgânico ou qualquer tipo de contaminante orgânico.

2.3.4 Hidrociclone

Filtro separador de partículas inorgânicas, o hidrociclone (Figura 4) trabalha a partir de uma pressão diferencial entre a água que entra e a que sai do sistema.

Existe uma diferença significativa nas gravidades específicas dos sólidos e da água, sendo que as forças centrífugas que atuam sobre a coluna d'água no separador causam uma velocidade, cujo efeito é maior que o efeito da gravidade.



FIGURA 4. Hidrociclone (Rain Bird, 1990).

Segundo Cabello (1996), os hidrociclones permitem eliminar as partículas com massa específica superior a $1,5 \text{ g.cm}^{-3}$ e tamanhos superiores a $74 \mu\text{m}$. As perdas de carga são da ordem de 30 a 70 kPa, dependendo da vazão, no entanto, são constantes no tempo, o que os diferencia dos outros filtros, nos quais as perdas aumentam à medida que os sedimentos se acumulam.

Para Gilbert & Ford (1986), os hidrociclones ou filtros centrífugos removem partículas suspensas que tenham peso específico maior que a água e tamanho maior que $75 \mu\text{m}$, porém são ineficientes na remoção de sólidos dissolvidos.

2.3.5 Telas tubulares

As telas tubulares proporcionam filtração de emergência de baixa capacidade. São usadas como garantias para mecanismos de filtragem primária ou em casos em que a água tem um índice de impurezas baixo. Algumas telas existentes no mercado possuem um mecanismo de limpeza a vácuo que proporcionam limpeza mais freqüente e eficaz, permitindo seu uso em situações em que o índice de impurezas é alto (Burt & Styles, 1994).

2.3.6 Telas de superfluxo de gravidade

As telas de gravidade são tipicamente autolimpantes. A água cai em cascata sobre uma tela de malha muito fina. Os contaminantes são levados até a borda da tela e a água limpa passa através da malha para uma câmara inferior, onde será coletada por uma bomba e conduzida até o sistema de gotejamento (Burt & Styles, 1994).

2.3.7 Filtro de disco

É um híbrido entre um tanque de areia e uma tela tubular. O filtro de disco é constituído internamente de uma pilha de discos circulares, os quais encontram-se prensados. Cada disco tem um padrão de encaixe ou ranhuras de profundidade apropriada para proporcionar a filtração necessária. As ranhuras permitem a passagem da água, retendo os sólidos. Esses filtros (Figura 5), especialmente aqueles com características de retrolavagem ou autolimpantes, foram apresentados por Burt & Styles (1994) como sendo a nova tendência do mercado.



FIGURA 5. Filtro de discos.

2.3.8 Bacias de sedimentação

As bacias de sedimentação são instaladas para permitir que os sólidos desçam ao fundo (decantem) e se separem da água, permitindo também a remoção de óleo. Contaminação por óleo lubrificante fará com que qualquer filtro seja rapidamente obstruído.

Quando contaminadas com o óleo, as telas precisam ser limpas freqüentemente com solvente. A solução final para o problema de contaminação por óleo é a eliminação da contaminação na fonte de água.

Em casos nos quais a água de abastecimento tem mais de 200 ppm de sólidos suspensos, a construção de uma bacia de sedimentação (Figura 6), antes dos filtros regulares, é recomendada (Burt & Styles, 1994).



FIGURA 6. Bacias de sedimentação.

Segundo Keller & Bliesner (1990), as bacias de sedimentação removem grandes quantidades de areia e silte, devendo ser construídas para que a água leve um quarto de hora para atravessá-la, tempo suficiente para que partículas inorgânicas maiores que 80 μm sedimentem.

2.4 Filtros de tela e suas características

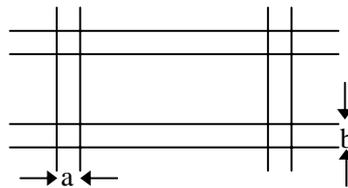
As telas ou malhas (Figura 7) utilizadas na fabricação dos filtros de tela são feitas de aço inoxidável ou náilon resistente (Karmeli et al., 1985). As principais características que definem as telas são: a densidade e a espessura dos fios, a distância entre os fios e a superfície de filtração aberta ou ativa, que corresponde à relação entre área aberta para fluxo de água e área total da tela.



FIGURA 7. Imagem ampliada de uma tela utilizada em filtros para irrigação.

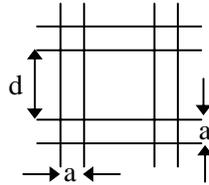
As aberturas da tela podem ser retangulares ou quadradas, dando origem às seguintes definições para a porcentagem de superfície aberta:

a) Para uma abertura retangular:



$$A = (1 - N.a) \times (1 - P.b) \times 100$$

b) Para uma abertura quadrada:



$$A = [d^2 / (a + d)^2] \times 100$$

em que:

A = porcentagem de superfície aberta;

N = número de fios ao longo de 1 cm da tela de filtração, no sentido do comprimento da abertura;

P = número de fios ao longo de 1cm da tela, no sentido da largura da abertura;

a = diâmetro do fio no sentido do comprimento da abertura;

b = diâmetro do fio no sentido da largura da abertura;

d = dimensão da abertura.

As telas são universalmente definidas pelo seu número de malha (nº de *mesh*), apresentado na Tabela 1. O número de *mesh* representa o número de aberturas em uma polegada de tela.

Os filtros ainda podem ser constituídos por placas perfuradas ou estampadas, em substituição às telas, a fim de conseguir melhor uniformidade das aberturas, bem como superfícies mais lisas e planas (Karmeli et al., 1985).

A porcentagem de superfície aberta para placas perfuradas ou estampadas está comumente compreendida em torno de 35%, variando conforme as diferentes formas das perfurações e arranjos.

TABELA 1. Números de *mesh* para padronização das telas dos filtros utilizados em sistemas de irrigação.

Mesh	Abertura --- mm ---	Mesh	Abertura --- mm ---
3,0	6,73	35	0,50
3,5	5,66	40	0,42
4,0	4,76	45	0,35
5,0	4,00	50	0,297
6,0	3,36	60	0,250
7,0	2,83	70	0,210
8,0	2,38	80	0,177
10	2,00	100	0,149
12	1,68	120	0,125
14	1,41	140	0,105
16	1,19	170	0,088
18	1,00	200	0,074
20	0,84	230	0,062
25	0,71	270	0,053
30	0,59	325	0,044

Fonte: US Standards Bureau.

O número de *mesh* para placas perfuradas ou estampadas é idêntico ao das telas. Existem diferentes tipos de perfurações e variados arranjos, conforme pode ser visualizado na Figura 8.

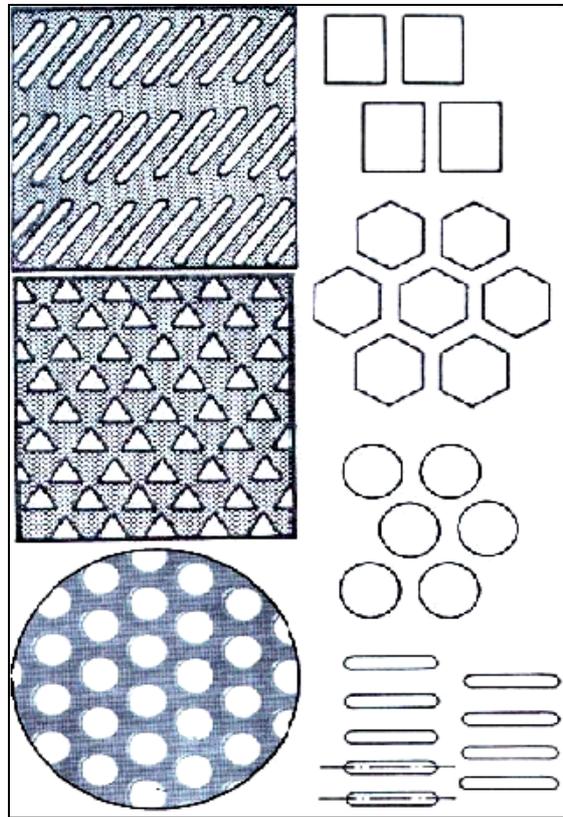


FIGURA 8. Perfurações e arranjos das placas utilizadas nos filtros para sistemas de irrigação (Karmeli et al, 1985).

Keller & Bliesner (1990) referem-se aos filtros de tela como um equipamento simples e eficiente para filtrar água. O tamanho dos orifícios e a quantidade total de área aberta por polegada determinam a eficiência e os limites operacionais dos filtros de tela.

Os filtros de tela removem de forma eficiente partículas muito finas de areia ou pequenas quantidades de algas (Keller & Bliesner, 1990). Geralmente, os filtros devem ser limpados quando a perda de carga atinge valores compreendidos entre 50 e 80 kPa.

Os fatores que devem ser levados em consideração por ocasião da escolha do filtro são: qualidade da água, vazão do sistema, área de filtração, porcentagem de área aberta por filtro, tempo desejado para o ciclo de limpeza e a perda de carga permissível (Keller & Bliesner, 1990).

O filtro de tela é bastante utilizado em sistemas de irrigação localizada, e a malha da tela depende do tamanho de partícula que se pretende remover. Muitos emissores disponíveis comercialmente requerem filtros com malhas para reter material com tamanho de 150 a 75 μm (100 a 200 *mesh*). A filtração por tela remove eficientemente areias muito finas e pequenas quantidades de algas. Quantidades moderadas de algas podem bloquear rapidamente uma tela simples, a não ser que esta tenha sido especificamente desenhada para acomodar este contaminante orgânico (Keller & Bliesner, 1990).

Sabe-se que os filtros de tela complementam o sistema de filtração, sendo instalados posteriormente aos filtros de areia para garantir que sólidos e outras impurezas entrem no sistema. Se sujarem muito, haverá uma grande perda de carga que poderá chegar a romper a tela.

Entretanto, percebe-se, no mercado de irrigação, uma tendência de eliminar o filtro de areia e utilizar somente o filtro de tela, desde que possuam sistemas automáticos de limpeza.

O sistema de limpeza de um filtro de tela pode ser manual ou automático. Águas que contêm quantidades significativas de contaminantes orgânicos não podem ser completamente limpas com um filtro de tela que contenha sistema de limpeza manual. O processo de filtração não apresentará o êxito desejado. Os filtros de tela não têm a capacidade para remover e reter grandes quantidades de partículas orgânicas sem reduzir severamente o fluxo de água através dos mesmos. Os filtros com limpeza automática são mais efetivos; todavia, também terão sua capacidade de filtração limitada na presença de grande quantidade de matéria orgânica na água de irrigação.

Durante o processo de filtração, as partículas são retidas pela tela e separadas da água. Se o fluxo de água através da tela se dá de dentro para fora do filtro, a limpeza pode ser realizada facilmente, abrindo uma válvula, ou porta de saída, que permita que um jato de água lave o interior do filtro, expulsando os contaminantes acumulados. Este procedimento caracteriza um sistema de limpeza manual de um filtro de tela.

Com relação ao sistema de limpeza automática de um filtro de tela, este pode ser constituído por uma simples válvula sensível à pressão. Monitorando-se a pressão na entrada e na saída do filtro, estabelece-se um diferencial de pressão para o qual a válvula será acionada, promovendo a limpeza do filtro. A limpeza automática também pode ser realizada utilizando-se uma válvula solenóide que é programada para ser acionada em intervalos de tempo preestabelecidos (Van der Guilk, 1999).

2.5 Obstrução de emissores

O potencial de entupimento dos emissores, na irrigação localizada, está relacionado, basicamente, à qualidade da água para irrigação (López et al., 1992). O entupimento de emissores, segundo Cabello (1996) e Pitts et al. (1990), pode ser resultante de causas físicas (areia, silte e argila), biológicas (bactérias e algas) ou químicas (deposição de Fe, S, Mn e fertilizantes).

Segundo Ravina et al. (1992), a determinação da causa exata do entupimento de emissores pode ser complexa, pois vários agentes presentes na água podem interagir, agravando o problema.

Um método eficaz para avaliação do risco de obstrução de emissores pelo uso de determinada água de irrigação não é fácil de ser elaborado, visto que outros fatores, como a temperatura, podem influenciar na formação de precipitados (Cabello, 1996).

Como orientação, Bucks & Nakayama (1980) sugerem uma classificação da água quanto ao risco potencial de entupimento, apresentada na Tabela 2. Esta classificação baseia-se em várias fontes, incluindo trabalhos de laboratório e experimentos de campo, realizados em vários locais e com diferentes qualidades de água.

TABELA 2. Risco potencial de entupimento pelo uso da água de irrigação

Tipos de problema	Reduzido	Médio	Alto
Físicos			
Sólidos suspensos (ppm)	< 50	50 - 100	> 100
Químico			
pH	< 7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (ppm)	< 500	500 - 2.000	> 2.000
Mn (ppm)	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Fe (ppm)	< 0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
SH ₂ (ppm)	< 0,5	0,5 - 2,0	> 2,0
Biológico			
População bacteriana (n° cm ⁻³)	< 10.000	10.000 - 50.000	> 50.000

Fonte: Gilbert & Ford, 1986

Keller & Bliesner (1990) afirmam que sólidos dissolvidos são um problema quando precipitam como mineral sólido ou são fontes de nutrientes para algas e limos bacterianos. Os autores comentam que a obstrução lenta e final dos emissores pelos precipitados e depósitos orgânicos não pode ser solucionada pela filtragem. Os emissores ainda podem ser obstruídos por precipitados ou colônias bacterianas resultantes da dissolução de cálcio ou de outros sais presentes no abastecimento de água.

Cuenca (1989) cita que os sistemas de irrigação por gotejamento podem ser obstruídos em pouco tempo, na ordem de uma semana, por limos bacterianos.

Estudos estatísticos mostram que o entupimento dos emissores tem sido a maior causa de variação de vazão nos sistemas de irrigação localizada. A manutenção preventiva e constante tem sido a melhor solução para reduzir ou eliminar o entupimento dos emissores (Gilbert & Ford, 1986).

Os emissores utilizados nos sistemas de irrigação localizada apresentam saídas muito pequenas, variando de 0,01 mm a 0,10 mm de diâmetro. Uma regra simples e prática na indústria é que todas as partículas maiores que 1/10 dos diâmetros dos orifícios de emissão devem ser removidos da água para evitar obstruções do emissor pela formação de agregados (Cabello, 1996). Para tanto, a maioria dos fabricantes de gotejadores (Plasto, Netafim, Naan, Irrimon, etc.) utiliza telas de filtragem com número de *mesh* igual ou superior a 120.

Mesmo que os sólidos suspensos na água de irrigação sejam muito menores que o orifício do emissor, a obstrução do mesmo pode ocorrer e, na prática, ocorre de fato (Rain Bird, 1990), porque essas partículas pequenas se juntam (agregam-se), tornando-se maiores, provocando a obstrução (Figura 9).

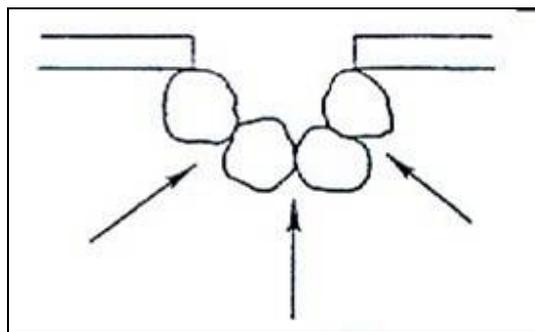


FIGURA 9. Partículas sólidas provocando obstrução do emissor.

O grau de obstrução pode ser ainda pior na presença de matéria orgânica (Figura 10), uma vez que a matéria orgânica em crescimento pode atuar como agente cimentante das partículas em suspensão da água de irrigação (Rain Bird, 1990).

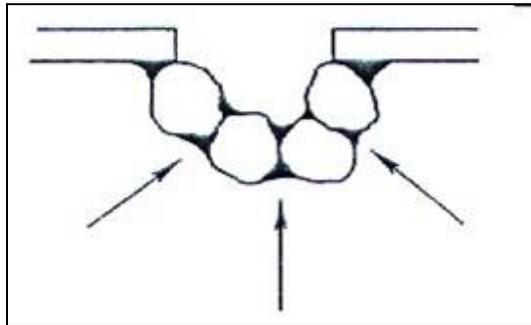


FIGURA 10. Matéria orgânica agindo como agente cimentante das partículas sólidas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização do experimento

O experimento foi realizado no Laboratório de Hidráulica do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA).

3.2 Fabricação do modelo do filtro de tela auto-limpante

Inicialmente, fabricou-se um modelo do filtro de tela autolimpante em PVC branco (DN 150 e PN 40), com a finalidade de testar os encaixes em PVC e também para se obter uma visão geral do filtro (Figuras 11 e 12).

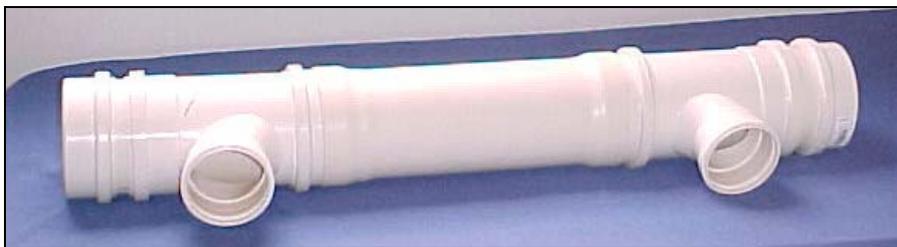


FIGURA 11. Modelo do filtro em PVC.



FIGURA 12. Peças do modelo do filtro.

3.3 Fabricação dos protótipos

Uma vez aprovado o modelo, fabricaram-se três protótipos do filtro (Figura 13), em PVC azul (DN 150 e PN 80), que foram submetidos a ensaios laboratoriais com a finalidade de caracterizar os filtros e avaliar o desempenho e eficiência dos mesmos.



FIGURA 13. Protótipos dos filtros.

Considerando-se os aspectos construtivos, as peças originais em PVC tiveram que ser previamente usinadas, de modo a proporcionar melhores encaixes entre todas no ato da confecção dos protótipos.

Para promover a estanqueidade dos protótipos, foram utilizados anéis de vedação fabricados em borracha sintética de 5 mm de espessura e diâmetro igual a 150 mm (Figura 14).

Externamente ao filtro, utilizou-se um retentor metálico de 20 mm de diâmetro e 6 mm de espessura, como pode ser visualizado na Figura 15.



FIGURA 14. Anel de vedação dos protótipos.



FIGURA 15. Retentor do protótipo.

Foram fabricados, também, dois tipos de suporte de tela, que se diferenciaram pela geometria da área vazada: retangular ou frisada. A área filtrante total foi correspondente a 1.700 cm^2 (Figura 16).



FIGURA 16. Geometria retangular e frisada dos suportes de tela.

Os protótipos construídos são dotados de sistema de limpeza. Este sistema de limpeza pode ser acionado de modo manual, com o auxílio de uma manivela (Figura 17), ou de modo automático. Neste último caso, o acionamento deverá ser realizado por meio de um motor elétrico.



FIGURA 17. Manivelas do sistema de limpeza dos protótipos.

Neste trabalho, não foi avaliado o sistema de limpeza acionado com motor elétrico (sistema de limpeza automático).

3.4 Ensaio dos protótipos

Para a realização dos testes, contou-se com um sistema de pressurização e com uma bancada para a sustentação dos protótipos.

Utilizou-se um motor trifásico da marca WEG, modelo 160M, frequência de 60 Hz, potência de 25 cv e rotação nominal de 3.500 rpm.

Para o bombeamento da água, utilizou-se uma bomba da marca KSB, modelo ETA 50-20, vazão de $50 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, altura manométrica de 800 kPa.

A bancada para sustentação dos protótipos foi construída em metalon e ferro chato (Figura 18).



FIGURA 18. Bancada de sustentação dos protótipos.

3.4.1 Resistência à pressão

A avaliação da resistência à pressão de ruptura dos protótipos foi realizada segundo NBR 9807 (ABNT, 1987). Os valores de pressões analisados foram 300, 400, 500, 600, 700 e 800 kPa. Os testes foram realizados utilizando-se água limpa, pois o objetivo deste teste foi apenas o de observar se não iria ocorrer vazamento nas conexões das partes (peças) do filtro, não tendo o intuito de se avaliar o potencial de filtração. Este teste foi utilizado, portanto, para caracterizar os protótipos quanto à pressão de serviço a que os mesmos poderiam ser submetidos.

3.4.2 Perda de carga

Para os testes de perda de carga (Figura 19) foram utilizados manômetros digitais com precisão de 1 kPa, instalados na entrada e na saída do sistema de filtração. Também foi utilizado um manômetro de mercúrio diferencial, instalado na seção correspondente à localização da tela, e um medidor de vazão com precisão de $0,01 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Os testes foram realizados com tela e sem tela, com o intuito de se avaliar a perda de carga dos orifícios de entrada e saída do sistema de filtração.

A influência da geometria da área vazada do suporte de tela na perda de carga do sistema de filtração também foi avaliada, comparando-se a geometria retangular com a geometria frisada.

Para fins comparativos, utilizou-se a curva de perda de carga fornecida pelo fabricante brasileiro de filtros autolimpantes Iavant, como testemunha. Dessa forma, o experimento consistiu em 4 tratamentos e uma testemunha, conforme Tabela 3.



FIGURA 19. Ensaio de perda de carga dos protótipos.

TABELA 3. Tratamentos analisados nos testes de perda de carga dos protótipos

Tratamentos	Descrição
Testemunha	IAVANT
T1	Suporte retangular, com tela
T2	Suporte retangular, sem tela
T3	Suporte frisado, com tela
T4	Suporte frisado, sem tela

3.4.3 Capacidade de filtração dos protótipos

Para a avaliação da capacidade de retenção de sólidos pelos protótipos, utilizou-se água contendo, aproximadamente, 50 g.l^{-1} de sólidos (areia com diâmetro efetivo de 0,55 mm) e tela de 120 *mesh*.

Define-se como diâmetro efetivo o diâmetro tal que 10% do material de interesse, em massa, tenha diâmetros menores que ele (Caputo, 1973).

Coletou-se o sólido que ficou retido na tela do protótipo, determinando-se a porcentagem dele em relação à quantidade de sólidos inseridos na água pressurizada.

A areia utilizada nos testes foi obtida na cidade de Itumirim (MG), caracterizando-se como uma areia angulada.

3.4.4 Eficácia do sistema de limpeza

Para a avaliação da eficácia do sistema de limpeza, foi utilizada água contendo 50 g.l^{-1} de sólidos (areia com diâmetro efetivo de 0,55 mm).

O sistema de limpeza foi acionado manualmente, fazendo-se girar uma manivela que movimentava um sistema de tubos de cobre de 15 mm, com

perfurações de 7 mm de diâmetro ao longo dos mesmos, que são dispostos face a face com a tela, retirando por sucção os detritos retidos.

Cinco segundos após a inserção da areia na água, acionou-se a manivela que faz girar o sistema de sucção interna por 1 minuto, resultando na limpeza da tela. Posteriormente, verificou-se se a tela apresentava-se limpa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Resistência à pressão

Na avaliação da resistência à pressão dos protótipos, verificou-se que, para as pressões de 300, 400, 500 e 600 kPa, não houve ruptura nem sinais de vazamentos nos mesmos. Com a aplicação da pressão de 750 kPa, focos de vazamentos puderam ser observados nos anéis de vedação.

Durante a aplicação da pressão de 780 kPa ocorreu a ejeção do retentor colocado externamente ao filtro (Figura 20).



FIGURA 20. Momento em que o retentor foi ejetado.

Com a aplicação da pressão de 800 kPa, verificou-se considerável aumento nos vazamentos do sistema de vedação central bem como ruptura do “cap” DN 150 PN 80, que havia sido anteriormente usinado (Figura 21).



FIGURA 21. Cap rompido.

Com a ruptura, ocorreu uma “explosão” do sistema, ejetando violentamente o cap, proporcionando, inclusive, a queda da bancada de testes e a danificação dos protótipos (Figuras 22 e 23).



FIGURA 22. Momento da explosão.

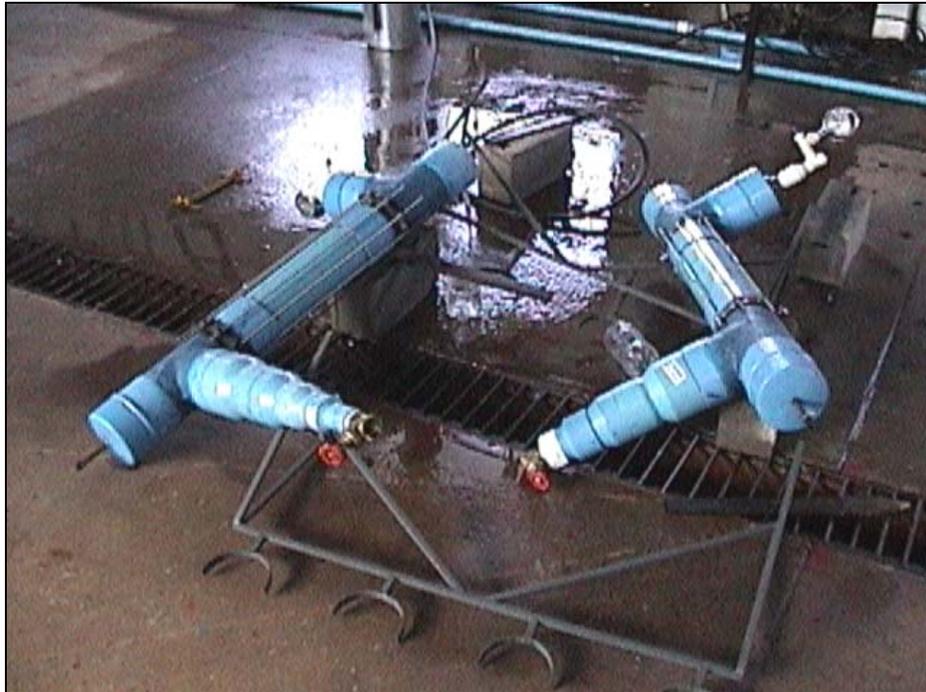


FIGURA 23. Bancada e protótipos após a explosão.

Constatou-se, então, que os protótipos permitem um funcionamento com pressão de serviço inferior a 750 kPa sem apresentarem vazamentos, conforme norma 9807/87 da ABNT.

O PVC utilizado na fabricação dos protótipos apresentava resistência à pressão de 800 kPa (PN 80). Esperava-se, então, que os mesmos não se rompessem a pressões inferiores a 800 kPa. No entanto, acima de 780 kPa, os protótipos apresentaram problemas de vazamento e ruptura, porque as peças originais foram usinadas para sua confecção, alterando a espessura de parede e, conseqüentemente diminuindo sua resistência à pressão.

4.2 Perda de carga

Os maiores valores de perda de carga (Figura 24) foram obtidos para o tratamento T1 (suporte retangular com tela), tendo os menores valores sido encontrados para o tratamento T4 (suporte frisado sem tela). Para os tratamentos T2 e T3, a perda de carga do sistema de filtragem foi praticamente igual.

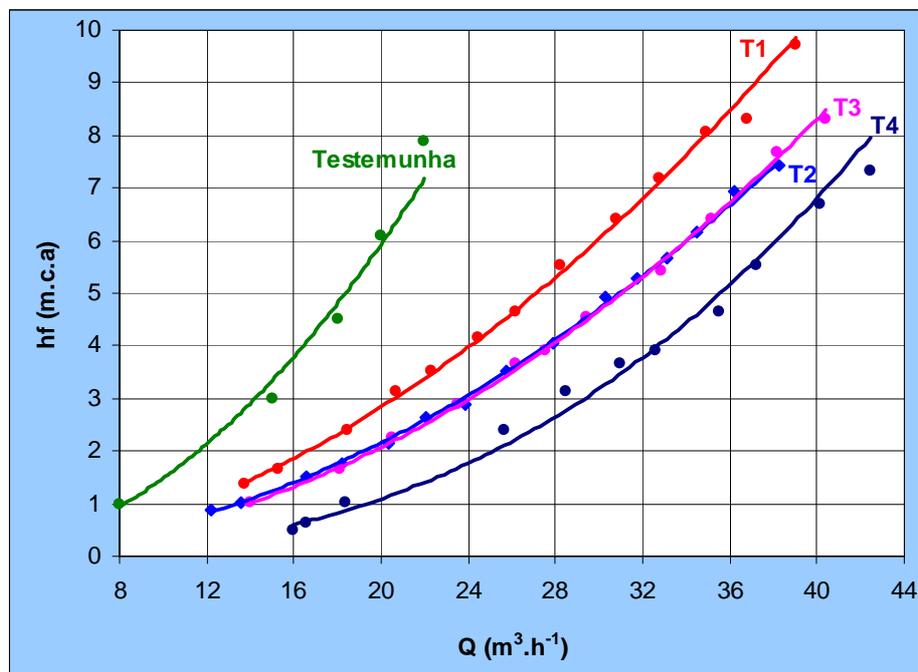


FIGURA 24. Perda de carga do sistema de filtragem

Uma vez que a função principal dos filtros nos sistemas de irrigação é remover os contaminantes (partículas sólidas) da água utilizada, conclui-se que a melhor opção para a confecção dos protótipos será a adoção do suporte frisado com tela, pois ele permite que os sólidos fiquem retidos na tela, removendo as impurezas da água, além de se relacionar com uma baixa perda de carga do sistema.

Independentemente da geometria da área vazada do suporte de tela, para um mesmo valor de vazão, a perda de carga dos protótipos estudados foi menor que a perda de carga encontrada para a testemunha (Iavant), caracterizando-se como uma vantagem dos protótipos desenvolvidos.

Equações do tipo potencial foram ajustadas aos dados experimentais obtidos no teste de perda de carga. A Tabela 4 apresenta os valores dos coeficientes de regressão para a função potencial ajustada para cada tratamento.

TABELA 4. Coeficientes de regressão da função potencial ajustada a cada tratamento, com respectivos coeficientes de determinação (R^2).

Tratamento	$hf = a Q^b$		
	a	b	R^2
T1 - Suporte retangular com tela	0,0103	1,8663	0,9993
T2 - Suporte retangular sem tela	0,0069	1,9200	0,9987
T3 - Suporte frisado com tela	0,0054	1,9870	0,9984
T4 - Suporte frisado sem tela	0,0004	2,6404	0,9884

Observa-se que quanto maior o valor do coeficiente 'a', maior tende a ser a perda de carga do sistema de filtração. As equações ajustadas apresentaram elevados valores de coeficiente de determinação, indicando que as mesmas podem ser utilizadas, satisfatoriamente, para a estimativa da perda de carga dos protótipos em função da vazão.

4.3 Capacidade de filtração dos protótipos e eficácia do sistema de limpeza

Para a tela de 120 *mesh* (125 μm), que é muito utilizada em gotejamento, verificou-se que, para todos os protótipos, 90% dos sólidos

contidos na água pressurizada ficaram retidos na tela, tendo os sólidos ficado retidos principalmente nas extremidades da tela.

Cabe ressaltar que a capacidade de filtração está diretamente relacionada ao número de *mesh* da tela utilizada, sendo que, quanto menor a abertura da tela, melhor será o processo de filtração. Todavia, a perda de carga também será maior. É necessário, portanto, chegar a um consenso entre o número de *mesh* que permita uma melhor filtração com uma menor perda de carga, garantindo a viabilidade e bom desempenho do filtro.

Durante o processo de limpeza, verificou-se que o sistema de limpeza foi capaz de remover todos os sólidos que ficaram retidos na tela, constatando-se que o mesmo é eficaz no momento de sua automação.

5 CONCLUSÕES

1. Os protótipos toleraram pressões de serviço de até 750 kPa.
2. A melhor opção para a confecção dos protótipos é a utilização do suporte frisado com tela, por promover a remoção das impurezas com menor perda de carga do sistema de filtração.
3. Os protótipos de filtro autolimpante desenvolvidos e avaliados neste estudo apresentam características que lhes conferem um diferencial muito significativo em relação aos modelos existentes no mercado: fácil limpeza e necessidade mínima de manutenção.
4. O sistema de limpeza automático do filtro de tela não foi testado, ficando como sugestão para trabalhos futuros avaliar o funcionamento e a eficácia dos protótipos quando os mesmos possuem sistema de limpeza automático. Ainda como sugestões para trabalhos futuros, cabe ressaltar a avaliação de outras geometrias para a abertura do suporte de tela, bem como outros tipos de tela (diferentes números de *mesh*) na perda de carga e na capacidade de filtração dos protótipos, visando otimizar seu desempenho.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9807 - Tubos de PVC rígido deflexão com junta elástica PN 125 para sistemas fixos de irrigação.** 1987.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **A qualidade da água na agricultura.** Trad. de H. R. Gheyi, J. F. de Medeiros, F. A. V. Damasceno. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação.** 7. ed. Viçosa: Editora UFV, 2005. 611 p.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S. Injection of fertilizer and other chemicals for drip irrigation. In: AGRICULTURAL TURF IRRIGATION CONFERENCE, 1980, Houston. **Proceedings...** Houston: Irrigation Association, 1980. p. 166-180.

BURT, C. M.; STYLES, S. W. **Drip and microirrigation for trees, vines, and rowcrops.** San Luis Obispo: California Polytechnic State University, 1994.

CAPUTO, H. P. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** 3. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos ; Brasília: INL, 1973. 242 p.

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

CUENCA, R. H. **Irrigation system design:** an engineering approach. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1989. 552 p.

FARIA, M. A. **Irrigação por gotejamento e microaspersão.** Lavras: UFLA/FAEPE, 2000. 145 p.

GILBERT, R. G.; FORD, H. W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation of crop production.** Elsevier Science Publishers, 1986. 383 p.

KARMELI, D.; PERI, G.; TODES, M. **Irrigation systems:** design and operation. Oxford: Oxford University Press, 1985. 187 p.

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

LOPEZ, T. M. Cabezal de riego. In: LOPEZ, C. C (Ed.) **Fertirrigacion: cultivos hortícolas y ornamentales**. Madri: Mundi-Prensa, 1998. cap. 6, p. 247-263.

LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P.; HERNÁNDEZ, J. F. G. **Riego localizado**. Madri: Mundi-Prensa, 1992. 405 p.

PHILLIPS, K.P. Long-term operation of microirrigation filtration systems; successes, failures and operational solutions. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 15., 1995, Orlando. **Microirrigation for a changing world: conserving resources/preserving the environment**. Orlando, ASAE, 1995. p. 579-585.

PITTS, D. J.; HAMAN, D. Z.; SMAJSTRLA, A. G. **Causes and prevention of emitter plugging in microirrigation systems**. Florida: Cooperative Extension Service, 1990. 12 p. (Bulletin, 258).

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA, A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science** 13. Israel, 1992. p.129-139.

RAIN BIRD. **Low volume irrigation system maintenance manual**. Glendora – USA, 1990.

SOCCOL, O.J. **Construção e avaliação de hidrociclone para pré-filtragem da água de irrigação**. 2003. 89 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

VAN der GUILK, T. **Manual de Riego Localizado por Goteo y Microaspersión**. 1999. 231 p.