



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AGRÍCOLA**

Gabiane Souza dos Santos

**ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO SOB
FERTIRRIGAÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO EM PERÍMETROS IRRIGADOS DA REGIÃO
PETROLINA/PE**

JUAZEIRO – BA

2016

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO
FRANCISCO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA**

Gabiane Souza dos Santos

**ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO SOB
FERTIRRIGAÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO EM PERÍMETROS IRRIGADOS DA REGIÃO
PETROLINA/PE**

Dissertação apresentada ao
Programa de Pós Graduação em
Engenharia Agrícola da
UNIVASF, Campus Juazeiro,
em cumprimento aos requisitos
para a obtenção do título de
mestre em Engenharia Agrícola.

Prof. Orientador: Pedro
Robinson Fernandes de Medeiro

JUAZEIRO – BA

2016

	Santos , Gabiane Souza dos .
S237a	Análise de susceptibilidade ao entupimento sob fertirrigação de sistema de irrigação por gotejamento em perímetros irrigados da região Petrolina-PE / Gabiane Souza dos Santos.--Juazeiro, 2016.
	49 f. : il. ; 29 cm.
	Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do vale do São Francisco, Campus Juazeiro-BA, 2016.
	Orientador: Prof. Dr. Pedro Róbinson Fernandes de Medeiros
	1. Irrigação agrícola 2. Irrigação localizada. 3. Gotejamento. I. Título. II. Medeiros, Pedro Róbinson Fernandes. III. Universidade Federal do Vale do São Francisco.
	CDD 631.587

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema Integrado de Biblioteca SIBI/UNIVASF
Renato Marques Alves

UNIVERSIDADE FEDERAL DO VALE DO SÃO FRANCISCO
MESTRADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

FOLHA DE APROVAÇÃO

Gabiane Souza dos Santos

**“ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO SOB
FERTIRRIGAÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR
GOTEJAMENTO EM PERÍMETROS IRRIGADOS DA REGIÃO
PETROLINA/PE.”**

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação *Strito Sensu* em Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF, como requisito parcial para obtenção do título de mestre.



Pedro Robinson Fernandes de Medeiros, Prof. D.Sc.
Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF



Clóvis Manoel Carvalho Ramos, Prof. D.Sc.
Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF



Lígia Borges Marinho, Profa. D.Sc.
Universidade do Estado da Bahia – UNEB

Juazeiro-BA, 26 de Fevereiro de 2016.

DEDICO

A Deus pelo dom da vida.
A minha mãe (in memoriam),
exemplo de amor e perdão.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela sua infinita bondade de estar presente em todos os momentos da minha vida.

Agradeço a todos os professores pela contribuição com seus ensinamentos. Em especial, dedico ao meu orientador, Prof. Dr. Pedro Robinson Fernandes de Medeiros, pelo exemplo, pela atenção, pela amizade, pela confiança depositada, e por toda contribuição nesse trabalho.

A minha família pelo amor, carinho, compreensão, em especial aos meus irmãos, Graciane, Marcos, Hamilton, Eglailton e Evanilton. Aos meus sobrinhos pela alegria que me proporcionam a cada momento em que vivemos.

Aos amigos e colegas da pós-graduação da UNIVASF pela oportunidade de compartilhar momentos de alegria e dificuldades, e pelo apoio na execução dos trabalhos, em especial, Dayane, Elton, Roberto.

Aos meus amigos, Betânia, Ludmila, Rubicléa, Cleildes, Geiziane, Joselina, Max, Priscila, Lidiane, Mariana, Maiane, Gilberto, Nayara, Loana, obrigada pelo apoio com palavras e gestos de incentivo a cada momento.

À Fundação de Amparo a Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco pelo apoio financeiro fundamental à pesquisa.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco por ter disponibilizado o Laboratório de Irrigação e Drenagem para a condução e estudos do experimento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola pela oportunidade oferecida para a realização do curso de Mestrado.

A todos os funcionários da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, que me ajudaram durante todos os meus trabalhos realizados, em especial a secretária Carolina Torres, por ter sido sempre prestativa.

A Banca examinadora pela valiosa contribuição à pesquisa desenvolvida.

A todos que, de uma maneira ou de outra, contribuíram para a realização deste trabalho, o meu muito obrigada.

SANTOS, G. S. ANÁLISE DE SUSCEPTIBILIDADE AO ENTUPIMENTO SOB FERTIRRIGAÇÃO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO EM PERÍMETROS IRRIGADOS DA REGIÃO PETROLINA/PE. 2016. 49 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF. Juazeiro-BA.

RESUMO

Na região Nordeste onde a precipitação pluvial não é suficiente para atender às necessidades hídricas das culturas, a irrigação localizada tornou-se essencial. No entanto, neste sistema, o uso da fertirrigação é uma preocupação, devido a entupimentos dos emissores. Portanto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a susceptibilidade ao entupimento sob fertirrigação do sistema de irrigação por gotejamento utilizados nos perímetros irrigados da Região de Petrolina/PE. O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Irrigação da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), Campus Juazeiro/BA. Os testes de vazão foram realizados em tubo gotejadores novos e usados há 5 anos, advindos do Perímetro Irrigado Nilo Coelho, Petrolina-PE. Foram analisados 10 (dez) emissores por linha lateral de irrigação. A pressão de serviço utilizada foi de 150 kPa. Os parâmetros analisados foram, Vazão média dos emissores (q), vazão relativa dos emissores (Q_r), Desvio Padrão (σ), Coeficiente de Variação de Vazão (CV_q), Grau de entupimento (GE). E os indicadores de uniformidade de distribuição de água, como o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), Coeficiente de Uniformidade de Distribuição (CUD), Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH) e o Coeficiente de Uniformidade Estatística (CUE). A análise estatística efetuada a descritiva quantitativa, por medidas de tendência central e por medidas de dispersão de dados. Conforme os principais resultados, a utilização de gotejadores com canais (labirintos) de formato mais ondulado, reduzem significativamente o problema de entupimento, contribuindo para a otimização do uso da água. Enquanto aos resultados para emissores usados sucessivamente nas culturas da uva e do melão, não se recomendaria a substituição do sistema, com valores de grau de obstrução de 10,6 e 2,56 % para os emissores usados e novos, respectivamente. Enquanto os coeficientes de uniformidade CUC, CUE e CUD ficaram acima dos 90%.

Palavras-chave: Irrigação localizada; Sais fertilizantes; Obstrução de emissores

SANTOS, S. G. ANALYSIS OF SUSCEPTIBILITY TO CLOGGING IN FERTIRRIGATION OF IRRIGATION SYSTEM IN DRIP IRRIGATION OF PETROLINA PERIMETERS REGION / PE. 2016. 49 f. Thesis (MS in Agricultural Engineering) - Federal University of São Francisco Valley - UNIVASF. Juazeiro-BA.

ABSTRACT

In the Northeast region where rainfall is not sufficient to meet crop water requirements, localized irrigation has become essential. However, in this system, the use of fertigation is a concern due to clogging of the emitters. Therefore, the aim of this research was to evaluate the susceptibility to clogging in fertigation Drip irrigation system used in irrigated areas of Petrolina / PE Region. The project was developed in the Irrigation Laboratory at Federal University of São Francisco Valley (UNIVASF), Campus Juazeiro / BA. The flow tests were of new and used drip tube 5 years ago, arising from the Irrigated Perimeter Nilo Coelho, Petrolina-PE. We analyzed ten (10) emitted by winger irrigation. The operating pressure used was 150 kPa. The parameters analyzed were average flow rate of emitters (\bar{q}) concerning the flow emitters (Q_r), standard deviation (σ), Coefficient of Variation Flow (CVQ), clogging degree (GE). And the indicators of uniformity of water distribution, as the uniformity coefficient of Christiansen (CUC), Coefficient Distribution Uniformity (CUD), coefficient of uniformity Hart (CUH) and the Uniform Statistical coefficient (CUE). Statistical analysis was quantitative descriptive, by measures of central tendency and data dispersion measures. As the main results, the use of drip channels (labyrinths) of more wavy shape, significantly reduce the clogging problem, contributing to the optimization of water use. While the results for issuers successively used on crops of grapes and melon, do not recommend replacement of the system with degree of obstruction values of 10.6 and 2.56% for used and new emitters, respectively. While the uniformity coefficients CUC, CUE and CUD were above 90%.

Keywords: localized irrigation; Fertilizer salts; Obstruction of issuers

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** A) Tubo gotejador com conexão na linha (in-line); B) Tubo gotejador com longo percurso (labirinto), tipo “bob”. (TESTEZLAF, 2014)..... 15
- Figura 2.** Grau de entupimento (GE) dos emissores usados e novos, referenciado em (horas) de irrigação com S- Água tratada do SAAE; RM- Água do Rio São Francisco com fertilizantes para a cultura do melão e RU- Água do Rio São Francisco com fertilizantes para a cultura da uva. 28
- Figura 3.** Estruturas de canais (labirintos) em emissores. I – Labirinto tipo tortuoso; II – labirinto tipo trapezoidal; III – labirinto tipo ondulado; IV – labirinto tipo retangular; V – labirinto tipo misto (retangular e ondulado). (Retirado de YAN et al., 2009). 36
- Figura 4.** Descrição detalhada do modelo de gotejador com 5 anos de uso na cultura da videira, no perímetro irrigado Nilo Coelho, Petrolina/PE. 37
- Figura 5.** Distribuição de partículas no campo de fluxo nos labirintos dos emissores identificados pelas letras Aa, Bb, Cc, Dd e Ee. (Retirado de WEI et al., 2012). 38
- Figura 6.** Novo Projeto estrutural com labirintos otimizados, de formato ondulado. (Retirado de WEI et al., 2012)..... 39
- Figura 7.** Distribuição da concentração de partículas com diâmetro de 0,08 mm. (Retirado de LI et al., (2013). 40
- Figura 8.** Concentração de distribuição das seções transversais paralelas. (Retirado de LI et al., (2013)..... 41

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Quantidades de fertilizantes e de água aplicados por planta, no ensaio de avaliação do Sistema de Fertirrigação do ciclo da cultura do Melão e Uva, em Juazeiro-BA, 2015.....	24
Tabela 2. Dados médios de vazão média para emissores novos, referenciada em horas de irrigação para a pressão de serviço de 150 kPa.	25
Tabela 3. Dados médios de vazão média para emissores com 5 anos de uso, referenciada em horas de irrigação para a pressão de serviço de 150 kPa.	26
Tabela 4. Dados médios para emissores usados com 5 anos e emissores novos, utilizando água do Rio São Francisco tratada urbana (SAAE) e sem tratamento com adição de fertilizantes.	29

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	11
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	13
2.1 Agricultura Irrigada	13
2.2 Sistema de Irrigação localizada por gotejamento	13
2.3 Tipo de gotejadores.....	15
2.4 Fertirrigação.....	17
2.5 Obstrução em emissores do tipo gotejador	18
3. CAPITULO I.....	20
4. CAPITULO II	32
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	44

1. INTRODUÇÃO

A agricultura irrigada é o setor que mais consome água no Brasil e no mundo, no entanto, é uma questão preocupante devido às restrições de disponibilidade de água em que estamos vivenciando nos últimos tempos. Contudo é necessário a utilização de técnicas de irrigação, para que se tenha um uso racional deste recurso, uma vez que evita desperdícios e melhora a produção agrícola.

O sistema de irrigação por gotejamento é uma alternativa de uso racional da água, uma vez que apresenta economia de água, a partir do seu uso direto na zona radicular (SCHIMIDT et al., 2014). Por outro lado, com o tempo de uso este sistema começa a apresentar obstrução nos emissores, onde as causas podem estar relacionadas às características dos gotejadores e a qualidade da água de irrigação, incluindo aspectos biológicos, físicos e químicos (SANTOS et al., 2003; SILVA et al., 2012).

Com relação as características dos gotejadores, estes possuem pequenos diâmetros em seus orifícios e labirintos, além disso este último apresenta diferentes formatos (tortuosos, retangular, zigue-zague, ondulado, dentado, trapezoidal, entre outros), que dificultam a passagem de água e outras substâncias, conseqüentemente levando ao entupimento.

As obstruções físicas estão relacionadas às partículas que a água leva em suspensão e que entopem ou fecham os emissores ou as próprias tubulações. As obstruções por precipitações químicas podem ser originadas por excesso de carbonato, sulfato de cálcio, magnésio, oxidação do ferro, condições de umidade, temperatura, pH e/ou concentração de sais; bastantes difíceis de encontrar e difíceis de tratar quando estão em estado avançado, necessitando assim fazer tratamentos preventivos mais frequentes, quanto mais altos forem os riscos de entupimento (NAKAYAMA E BUCKS, 1991).

E com a aplicação de sais fertilizantes junto à água de irrigação caracterizada como a técnica de fertirrigação, otimiza-se o uso de insumos (OLIVEIRA et al., 2008). Por outro lado, traz alguns inconvenientes como a alta suscetibilidade ao entupimento dos emissores por precipitação dos sais da solução nutritiva (SANTOS et al., 2003; SILVA et al., 2012). Dessa forma, provocando variação na vazão nos gotejadores e como consequência redução na uniformidade de distribuição de água e sais fertilizantes (LÓPEZ et al., 1997).

A baixa uniformidade significa excesso de água em certos pontos e falta em outros. Em muitas situações, para atender às necessidades hídricas das plantas em

posições críticas, aumenta-se a aplicação de água na área, podendo haver percolação profunda, aumento do consumo de energia e lixiviação de nutrientes (CAPRA E SCICOLONE, 2004).

O entupimento pode ser parcial, reduzindo a uniformidade de aplicação, ou total, interrompendo por completo o funcionamento do sistema, causando sérios problemas às culturas, devido à deficiência hídrica (CARARO et al., 2006).

Muitas vezes os gotejadores obstruem em curto espaço de tempo, e não são realizados procedimentos de recuperação, surge a decisão de troca do sistema de irrigação, com isso elevando os custos com novos equipamentos.

No entanto, é importante que os irrigantes busquem informações técnicas a respeito de quanto tempo o sistema de irrigação pode ficar operando, realizando avaliações no sistema com a finalidade de saber se o mesmo está operando com funcionamento excelente, para reduzir problemas de entupimento que porventura venha a ocorrer, trazendo melhores resultados na sua produtividade.

Portanto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar a susceptibilidade ao entupimento sob fertirrigação de um sistema de irrigação por gotejamento utilizado por 5 anos em perímetro irrigado da Região de Petrolina/PE.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Agricultura Irrigada

A agricultura irrigada depende necessariamente da água, sendo imprescindível a sua conservação na busca pela manutenção da produção agrícola; como também, devido aos seus diversos outros usos. A agricultura irrigada garante amplo crescimento produtivo das áreas agrícolas, como principal exemplo dessa garantia, temos a possibilidade da produção de alimentos em regiões áridas e semiáridas.

No entanto, a irrigação se destaca entre os setores que tem maior consumo de água, com aproximadamente 70% da água doce consumida no planeta (CALZADILLA, et al., 2010). Segundo Paulino et al., (2011), observaram que a área irrigada no Brasil aumentou de 3.121.644 para 4.453.925 ha, representando incremento de 1,3 milhões de hectares, ou seja, 42% em aproximadamente 10 anos.

A irrigação viabiliza cultivos em áreas onde, a má distribuição de chuvas ou a escassez de água limita a atividade agrícola. A região Sudeste é atualmente a região com maior área irrigada, lugar ocupado anteriormente pela região Sul. A região Nordeste ficou em terceiro lugar com 22% da sua área irrigada seguida das regiões Centro-oeste e Norte com 12,4% e 2,45%, respectivamente (SARAIVA, 2012).

O polo de irrigação Juazeiro/Petrolina que está situado no Vale do Sub médio do São Francisco, região semiárida, atualmente passam por diversas alterações na agricultura irrigada, com a utilização de métodos modernos de cultivo. E um desses métodos que está se expandindo, é o método de irrigação por gotejamento, que possuem requisitos que atendem por uma melhor eficiência no aproveitamento e quantidade de água aplicada.

E muitos usuários não utilizam qualquer tipo de estratégia de uso e manejo racional da água de irrigação, sendo o monitoramento dos sistemas ainda incipiente (PARIZI, 2007). Para Mantovani et al., (2009), esses problemas podem estar relacionados a três aspectos principais, como pouco uso de critérios técnicos de manejo de água, informações insuficientes e até mesmo incompletas de critérios para manejo de água, utilização de métodos de irrigação que operam com baixa eficiência na distribuição de água.

2.2 Sistema de Irrigação localizada por gotejamento

A irrigação localizada por gotejamento é um método que busca a eficiência na agricultura irrigada, e representa um grande avanço na tecnologia de irrigação. É um sistema no qual a água é aplicada em forma de gotas, com pequena intensidade e alta frequência (SILVA et al., 2012). Ainda é pouco utilizado em comparação aos alguns métodos de irrigação, o gotejamento viabiliza soluções para diversos problemas, tais como o cultivo de solos com pouca fertilidade, terrenos acidentados, redução de riscos por saís e, além de tudo isso, aumenta a eficiência no uso da água (LEITE, 1995).

Afirma Katsurayama (2015), trata-se de um método que possui inúmeras vantagens, como uma maior eficiência no uso da água e fertilizantes, menores custos com mão-de-obra, economia de água e energia, possibilidade de automação do sistema, menores incidências de ervas daninhas entre as linhas de cultivo, por outro lado, o sistema apresenta algumas limitações, como o alto custo de implantação, limitação no desenvolvimento do sistema radicular, além do entupimento de emissores.

Este sistema é composto basicamente por bomba, seguido de uma rede de filtros, emissores, sistemas de controle, de monitoramento e tubulações (NAKAYAMA, 1986). Segundo Nascimento et al., (2009) para um o bom funcionamento destes equipamentos é necessário que o irrigante tome alguns cuidados quanto à qualidade da água, à fertirrigação e à limpeza do sistema, com a finalidade de garantir maior durabilidade, com satisfatória uniformidade de aplicação de água.

Segundo Smajstrla (1991) para avaliar se realmente o sistema continua funcionando como o que foi planejado no projeto, é necessário fazer a medição da vazão e pressão. Segundo Bernardo et al., (2006), realizando testes de uniformidade, que se expressa pelos coeficientes, sendo o mais utilizado o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e o coeficiente estatístico de uniformidade (CUE).

Além dessas avaliações, são necessárias técnicas de redução e/ou prevenção quanto ao entupimento de emissores, tais como a filtragem da água e a lavagem das linhas laterais com produtos químicos. Neste último, a cloração é um dos processos que mais se utiliza, entretanto, outras substâncias podem ser utilizadas, tais como: ácidos clorídricos e fosfóricos (GILBERT; FORD, 1986). Conforme Carvalho (2009), quando se escolhe uma ou mais medidas, é preciso ser cuidadoso, pois as mesmas podem ser ineficientes.

No entanto, trabalhando para que o sistema de irrigação por gotejamento tenha um bom funcionamento, isso resultará em uma relação custo/benefício favorável, pois se os emissores obstruem em pouco tempo, as medidas de recuperação irão gerar custos

adicionais na manutenção do sistema, ou até mesmo, não serem mais eficientes (CARVALHO, 2009).

2.3 Tipos de gotejadores

O emissor é o componente-chave nos sistemas de irrigação por gotejamento, e desempenha o papel essencial que é de aplicar água lentamente e uniformemente por meio pequenos orifícios (MATTAR et al., 2015).

Sua forma construtiva e de inserção ao tubo lateral da irrigação o caracterizam de emissor “in-line”, emissor “on-line”, emissor de múltiplas saídas, emissor múltiplo, tudo emissor, emissor/tubo emissor regulado, entre outros. Em especial, os emissores “in-line” são projetados para instalação entre dois trechos de tubo em uma lateral de irrigação (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2006). Na Figura 1, pode ser observada a inserção do emissor na linha de irrigação, emissor “in line”.

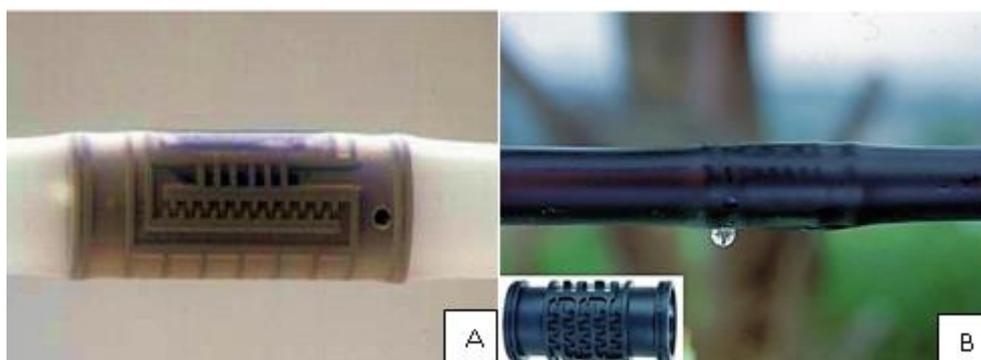


Figura 1. A) Tubo gotejador com conexão na linha (in-line); B) Tubo gotejador com longo percurso (labirinto), tipo “bob”. (TESTEZLAF, 2014).

Os emissores podem ser do tipo autocompensantes e não autocompensantes. Os primeiros se ajustam as variações de pressão fornecendo assim uma vazão constante ao longo da linha lateral, no entanto seu custo é mais elevado. Por outro lado, nos emissores não autocompensantes, onde a vazão diminui à medida que há uma redução da pressão, fazendo com que as linhas sejam menores para manutenção da uniformidade (LUDWYG, 2012).

Tais estruturas apresentam tamanho entre 0,5 a 2 mm, em formato espiral ou de labirinto para aumentar a perda de carga e com isto fazer com que o emissor fique com vazão reduzida, dessa forma tornam-se susceptíveis ao entupimento, seja por partículas

inertes, orgânicas ou inorgânicas (FRIZZONE et al., 2012). Sendo que a obstrução pode ocorrer de forma parcial ou completa (NAKAYAMA & BUCKS, 1991; CAMARGO et al., 2014). O que não se sabe ao certo quando e como de fato ocorrerá para cada modelo de gotejador específico.

Nos gotejadores, o labirinto é a seção mais importante no desempenho de um emissor, além disso, são usados por causa de suas estruturas simples e de baixo custo (MATTAR et al., 2015). Os gotejadores exibem características particulares, em especial em relação ao tipo de labirinto do emissor, os quais apresentam características em relação ao formato, como por exemplo, tortuosos, retangulares, zigue-zague, ondulado, dentado, trapezoidal, entre outros.

Adin e Sacks (1991) em experimento realizado no campo estudando o problema de entupimento de emissores em sistema de irrigação utilizando água residuária, descobriram que o entupimento estava relacionado com a estrutura do canal e sugeriu projeto melhorado para diminuição e ampliação do percurso de escoamento, arredondamento dos cantos.

Wei et al., (2006), estudaram sobre o desempenho hidráulico de gotejadores por dinâmica de fluidos computacional, e observaram que a estrutura de canto do canal é o principal fator que afeta a eficiência de dissipação de energia hidráulica nos labirintos (triangular, retangular e trapezoidal), e com base numa comparação, as taxas de fluxo do canal triangular é melhor de que canais retangulares e trapezoidais.

Segundo Wei et al., (2012), estudando o fluxo de água e areia que escaparam do sistema de filtragem que foram conduzidos em labirintos, em formato retangular e zig-zag em emissores, observaram vários escoamentos circulares e com velocidade baixa em algumas regiões do labirinto e, tudo isso ocasionava a precipitação de partículas nos cantos. Sendo com isso, proposto um novo projeto estrutural de labirintos com a mesma dimensão de diâmetro, porém de formato ondulado, verificaram-se excelentes desempenhos no avanço das partículas, reduzindo as chances de entupimento.

Além destes, vários outros estudos já foram desenvolvidos procurando avaliar o diâmetro e anatomia interna dos emissores. Além disso, as características do fluido no labirinto têm uma grande influência sobre a hidráulica, desempenho e entupimento do emissor, de modo que o estado de fluxo no labirinto deve ser bem entendido antes de projetar novos emissores (LIU et al., 2009).

2.4 Fertirrigação

O bom emprego de fertilizantes junto à água de irrigação caracteriza a técnica denominada fertirrigação. O emprego dessa técnica tem possibilitado um melhor aproveitamento de adubos em diferentes culturas irrigadas, tanto em aspectos relacionados à produtividade quanto à qualidade dos produtos, ao mesmo tempo em que possibilita um maior parcelamento da adubação (OLIVEIRA et al., 2008).

No entanto, segundo Gil et al. (2008), a aplicação de água e adubo por meio dessa técnica, pode trazer prejuízos ao sistema de irrigação por gotejamento, pois este pode ser obstruído por partículas adicionados a água ou até mesmo estarem presentes na água.

Existem diversos fertilizantes que podem ser utilizados na fertirrigação, mas não se pode deixar de levar em consideração, a alta solubilidade em água; elevada pureza; poder acidificador e baixo poder corrosivo (OLIVEIRA et al., 2007).

Os compostos nitrogenados que podem ser usados na fertirrigação, entre os mais usados estão uréia, sulfato de amônio, nitrato de amônio, MAP e DAP, nitrato de potássio, nitrato de cálcio e nitrato de magnésio (SILVA & BORGES, 2009). Já os fertilizantes potássicos mais usados na fertirrigação, está o cloreto de potássio branco (KCl), que é bastante utilizado por possuir uma alta solubilidade em água (CAMARGO, 2010).

Enquanto ao fósforo, um nutriente tradicionalmente aplicado em fundação, é um elemento pouco móvel (VITTI et al., 1994) e quando aplicado via fertirrigação, têm movimentação através do perfil do solo, o que, em parte, ajuda a explicar o aumento do movimento de fósforo de 5 a 10 vezes, quando aplicado via água de irrigação, por sistema de gotejamento (VILLAS BÔAS et al., 1999).

Segundo Foratto et al. (2007), os fertilizantes fosfatados mais utilizados via fertirrigação, destaca-se o monofosfato de amônio purificado (MAP), porém possui um custo mais elevado. No caso do ácido fosfórico também é utilizado, porém causa corrosão em peças metálicas dos sistemas (VILLAS BÔAS et al., 1999). Segundo Foratto et al., (2007), o uso do superfosfato simples surge com uma possibilidade, no entanto causa incrustações nas canalizações e obstruções de emissores. Mas poucos trabalhos foram realizados na literatura para confirmar essa afirmação.

Villas Bôas et al., (2003), destacam que são necessárias pesquisas em relação a fertirrigação, no que diz respeito a composição da solução nutritiva a ser injetada, tempo de aplicação, solubilidade e pureza dos produtos, uma vez que a adoção eficiente desta

técnica promove uma adequada uniformidade de distribuição de água e nutrientes, e menos riscos a obstrução de emissores no sistema de irrigação por gotejamento.

2.5 Obstrução em emissores do tipo gotejador

O uso inadequado da fertirrigação e a escolha de determinados emissores são em grande parte, problemas no sistema de irrigação localizada. Segundo Brauer, (2010) os emissores em função dos pequenos diâmetros dos orifícios são susceptíveis a obstrução.

Diversos são os emissores do tipo gotejador que estão disponíveis no mercado apresentando suscetibilidade ao entupimento (RAVINA, 1992). Teoricamente, alguns gotejadores apresentam sensibilidade ao entupimento, por apresentarem estreitas passagens e aberturas (0,5 a 2,0 mm) (FRIZZONE et al., 2012). Com isso, podem comprometer o sistema de irrigação, causando entupimento parcial, que diminui a uniformidade de aplicação, ou total na qual interrompe por completo o funcionamento do sistema, ambos causando deficiência hídrica às culturas (CARARO et al., 2004).

Conforme Silva et al. (2012), a obstrução dos emissores é um problema que está relacionado as particularidades do gotejador (formato e diâmetro do labirinto), ou até mesmo a qualidade da água de irrigação utilizada, relacionada aos aspectos físicos, químicos e biológicos.

Quando se trata de obstrução física é ocasionada por partículas inorgânicas em suspensão, como areia, silte e argila (BRAUER, 2010). O mesmo autor afirma que areia, silte e outros resíduos quando colocados nas linhas laterais, no momento da instalação, acarretam problemas.

Quanto a obstrução por aspecto biológico é causada por pequenos organismos aquáticos, como larvas, algas, fungos e bactérias que passam através da filtragem e se desenvolvem formando colônias nas tubulações, e a medida existe condições favoráveis de repouso, iluminação, temperatura e nutrientes, como nitrogênio e fósforo (CARVALHO et al. 2015).

A obstrução química é ocasionada pela passagem de elementos químicos na forma natural em que se encontram solúveis na água, para um novo estado de oxidação e redução (GILBERT et al., 1979). Alguns elementos como o ferro, manganês e enxofre são solúveis em estado reduzido, mas, quando oxidados precipitam e podem obstruir os gotejadores, a oxidação pode ser produzida por bactérias ou pelo contato com o ar ou com oxidantes contidos na água, com isso formam precipitados (PIZARRO, 1990).

Segundo Bucks et al., (1979), estabeleceram que para ser utilizada sem restrição na irrigação, o teor de ferro na água deve apresentar uma concentração menor que $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, quando o teor for maior que $1,5 \text{ mg L}^{-1}$, para sistemas por gotejamento, ocasionará um alto risco de obstrução de emissores. Ainda segundo o mesmo autor, substâncias em altas concentrações, como carbonato e sulfato de cálcio, podem precipitar e eventualmente formar incrustações.

Além disso, as condições de pH da água e a incompatibilidade entre os fertilizantes são causas prováveis de formação de precipitados químicos determinantes no entupimento de emissores (PATERNIANI; PINTO, 2001).

A obstrução de gotejadores reduz a eficiência da aplicação de produtos químicos, na mesma proporção que diminui a uniformidade de aplicação de água (BATISTA et. al., 2010). Segundo Capra e Sciclone (2004), uniformidade baixa significa grandes quantidades de água em alguns pontos da área e falta em outros, o que levará muitos irrigantes a aumentar na aplicação de água, dessa forma ocorrerá percolação e lixiviação. Além de elevar o consumo de energia, custos de manutenção, reposição de peças, recuperação e inspeções (FRIZZONE et al., 2012).

Gotejadores obstruídos acarretarão diminuição da vazão, aumento no coeficiente de variação de vazão (CVQ) do sistema de irrigação por gotejamento, comprometendo, assim, a produção agrícola (CARARO et al., 2006; SOUZA et al., 2006).

No polo da agricultura irrigada no Vale do São Francisco, temos relatos de sistemas de irrigação por gotejamento que estão em funcionamento na cultura da uva a 10 anos, porém são sistemas com uma elevada taxa de manutenção, principalmente em relação a tratamentos periódicos de limpeza a partir do uso de ácidos (ácido fosfórico e nítrico).

3. CAPITULO I

DESEMPENHO DE SISTEMA DE IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTO UTILIZADOS NAS CULTURAS DO MELÃO E DA UVA

RESUMO: Na irrigação localizada, o uso inadequado da fertirrigação é uma preocupação, podendo causar entupimento nos emissores. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a obstrução e uniformidade de aplicação de água em sistema de irrigação por gotejamento utilizados sob fertirrigação para as culturas do melão e da uva no Vale do São Francisco. O trabalho foi realizado no Laboratório de Irrigação da UNIVASF, Campus Juazeiro/BA. Foram realizados testes de vazão em tubos gotejadores novos e usados há 5 anos na agricultura irrigada, advindos do Perímetro irrigado Nilo Coelho, Petrolina-PE. Foram analisados os parâmetros de emissão e uniformidade. Os coeficientes de uniformidade de Christiansen, de Distribuição e Estatístico foram superiores aos 90%, classificados como excelentes; em média os valores de grau de obstrução foram de 10,60 e 2,56 % para os emissores usados e novos, respectivamente. Com base nas avaliações realizadas, para os emissores usados sucessivamente nas culturas da uva e do melão, não se recomendaria a substituição do sistema por problemas de obstrução, porém existe a necessidade de reavaliar os parâmetros iniciais de projeto a nível de cálculo de lâmina média.

Palavras-chave: Agricultura irrigada, sais fertilizantes, entupimento de emissores.

PERFORMANCE OF A DRIP IRRIGATION SYSTEM IN THE CULTURES OF MELON AND GRAPE

ABSTRACT: In the Northeast region where rainfall is not sufficient to meet crop water requirements, localized irrigation has become essential. However, in this system, the inappropriate use of fertigation is a concern, to cause clogging in the emitters. The objective of this study was to obstruction and uniformity of application in drip under fertigation irrigation system for crops melon and grape in the São Francisco Valley. The study was conducted in the Laboratory of Irrigation UNIVASF, Campus Juazeiro / BA. Flow tests were performed on new drip irrigation lines and used 5 years in irrigated agriculture, resulting from the irrigated perimeter Nilo Coelho, Petrolina-PE. Parameters and uniformity of emission were analyzed. The main results, uniformity coefficients

CUC, CUE and CUD were above 90% rated as excellent; the average degree of obstruction and values were 10.60 and 2.56% for the used and new emitters, respectively. Technically and considering the evaluations carried out, for issuers used successively in crops of grapes and melon, do not recommend replacement of the system provided it is made all the management and recommended maintenance.

Keywords: irrigated agriculture, fertilizer salts, emitter clogging.

INTRODUÇÃO

Um adequado sistema de irrigação deverá ser capaz de fazer o uso da água com a máxima eficiência. E a irrigação localizada possui essa característica, pois o suprimento de água e nutrientes é diretamente na zona molhada, já que a maioria das raízes das plantas se concentram nesse pequeno volume de solo úmido (GOMES, 2013).

No sistema de irrigação localizada, o gotejamento tem suas vantagens e limitações. Em meio às vantagens, o uso da fertirrigação é o mais econômico e eficiente método de aplicação de fertilizantes (BISCARO et al., 2011). No entanto, a utilização de alguns fertilizantes fosfatados como, superfosfato simples, superfosfato triplo e monofosfato de amônio, quando usados no sistema de irrigação por gotejamento, podem causar incrustações nas canalizações e obstruções de emissores (FORATTO et al., 2007).

Além disso, o sistema por gotejamento apresentar emissores com pequeno diâmetro de orifício, que o torna tão susceptível ao entupimento (BRAUER, 2010). E quando a obstrução acontece, ocorre variação na uniformidade de emissão, conseqüentemente diminuindo a eficiência do sistema de irrigação (SILVA et al., 2012). E é por isso que Mantovani et al. (2009), frisa que a avaliação de sistemas de irrigação se torna importante para verificar o funcionamento real do sistema (vazão, pressão, lâmina e entupimento) e necessidade de manutenção.

Diversas são as avaliações que podem ser realizadas para verificar o entupimento dos emissores, através de alguns parâmetros, entre eles a uniformidade de distribuição (UD), o grau de entupimento (GE) e o coeficiente de variação de vazão (CVq) (BRAUER et al., 2011; RIBEIRO et al., 2008).

Essas avaliações são práticas nas quais os irrigantes não têm dado muita importância, mas que são necessárias uma vez que traz informações se o sistema de

irrigação está operando adequadamente e se ainda poderá ser reutilizado em outros ciclos, consequentemente trazendo menos prejuízos econômicos e ambientais.

O objetivo do trabalho foi estudar a obstrução e uniformidade de aplicação em sistema de irrigação por gotejamento sob fertirrigação que são utilizados para a cultura do melão e da uva no Vale do São Francisco.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Irrigação da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF) do Campus de Juazeiro-BA, situado geograficamente nas coordenadas 9°24'S e 40°26'W. O clima do município é o semiárido, com temperatura média de 26,6 °C e pluviosidade média anual de 465mm (EMBRAPA, 2015).

As linhas laterais de irrigação utilizadas foram adquiridas no Perímetro irrigado Nilo Coelho, localizado em Petrolina-PE, as mesmas encontravam-se com 5 anos de uso na cultura da uva, onde foram levadas ao Laboratório de Irrigação da UNIVASF, Campus Juazeiro/BA. Foram realizados testes em uma bancada de emissores, sendo comparados as linhas laterais novas.

Os emissores utilizados foram do tipo gotejador, de conexão “*in line*”, acoplado a uma tubulação de polietileno de 16 mm de diâmetro, com espaçamento entre emissores de 0,5 m, e vazão nominal de 4 L h⁻¹. Foram testadas 4 (quatro) linhas laterais de irrigação, com 12 m de comprimento cada, e analisados 10 emissores em cada linha.

As vazões dos gotejadores foram determinadas por bateria de pluviômetros de massa conhecida, dispostos abaixo dos emissores, que retinham a água durante o período de 3 minutos, sendo os pesos medidos com balança eletrônica (precisão 0,001 g), e as leituras de vazão eram efetuadas em intervalos de 48 h.

Inicialmente foi utilizada água do Rio São Francisco tratada proveniente do Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE) da cidade de Juazeiro/BA, caracterizada como uma água de boa qualidade. O sistema de irrigação ficou operando por 360 horas para referenciar o desempenho inicial dos emissores.

Logo depois a água utilizada foi do Rio São Francisco sem tratamento, onde foram adicionados sais fertilizantes recomendados para as culturas do melão e uva. Os fertilizantes selecionados foram uréia (45% de N), cloreto de potássio (60% de K₂O) e superfosfato simples (18% de P₂O₅). A quantidade de fertilizantes utilizados foram

conforme recomendação de adubação para o estado de Pernambuco. A quantidade de fertilizantes utilizados na água bruta do Rio São Francisco sem tratamento, afim de simular produtores estão descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Quantidades de fertilizantes e de água aplicados por planta, no ensaio de avaliação do Sistema de Fertirrigação do ciclo da cultura do Melão e Uva, em Juazeiro-BA, 2015.

Culturas	Sais Fertilizantes	Adubação (g planta ⁻¹)	Água (L planta ⁻¹)
Melão	Uréia	21,96	340
	Cloreto de Potássio	21,96	340
	Superfosfato simples	73,2	340
Uva	Uréia	95,55	2.668,7
	Cloreto de Potássio	103,16	2.668,7
	Superfosfato simples	233,14	2.668,7

O bombeamento da água com sais fertilizantes foi por meio de uma bomba hidráulica de 0,5cv de potência acoplada a uma caixa d'água de 500 L ligada diretamente a pista de teste de emissores. A pressão de serviço utilizada foi de 150 kPa, sendo calibrada por meio de um manômetro metálico do tipo Bourdon, instalado na saída da bomba, com a finalidade de verificar a pressão operante ao longo da linha lateral.

O sistema de irrigação ficou operando por 96 e 816 horas para a cultura do melão e da uva, respectivamente. Estas quantidades de horas foram aplicadas com base nos estudos de Araújo et al., (2008), onde observaram que no Vale do São Francisco, o melão apresenta um ciclo de 60 a 70 dias, com consumo hídrico de 300 a 550 mm, podendo superar uma produtividade de 25 t ha⁻¹. E segundo Netto et al., (2000), avaliando a uva Itália, nesta mesma região, e observaram um consumo hídrico do ciclo vegetativo (da poda à colheita dos frutos) de 333,6 mm.

Foram analisados os seguintes parâmetros, Vazão média (\bar{q}), Vazão Relativa (Qr), Desvio Padrão (σ), Coeficiente de Variação de Vazão (CVq), Grau de Entupimento (GE). Como também, foram avaliados os indicadores de uniformidade de distribuição de água, CUC (Coeficiente de Uniformidade de Christiansen), CUD (Coeficiente de Uniformidade de Distribuição), CUE (Coeficiente de Uniformidade Estatístico), Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH).

A análise estatística utilizada foi a descritiva quantitativa, a partir de toda a população de dados no tempo (horas de irrigação nas linhas laterais), a fim de sintetizar uma série de valores de mesma natureza (vazão dos emissores), permitindo dessa forma que se tenha uma visão global da variação desses valores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 2 e 3, encontra-se dados de vazão (Q_m , σ , Q_r , CV_q , DM , SQ , Var , Med , $Máx$, $Mín$.), obtidos em avaliações periódicas de emissores novos e usados, em função da aplicação de sais fertilizantes (uréia, superfosfato simples e cloreto de potássio) nas culturas do melão e da uva.

Tabela 2. Dados médios de vazão média para emissores novos, referenciada em horas de irrigação para a pressão de serviço de 150 kPa.

Parâmetros	Água Tratada SAAE		Fertilizantes (Melão)		Fertilizantes (Uva)		
	Tempo de Irrigação (h)						
	24	360	24	96	24	480	816
Q_m	3,84	3,80	3,76	3,75	3,73	3,78	3,75
Q_r (%)	100,0	99,99	97,78	97,44	97,00	98,27	97,44
Σ	0,06	0,07	0,07	0,06	0,08	0,08	0,07
D.M.	0,04	0,05	0,06	0,05	0,06	0,06	0,06
S.Q.	3,27	4,63	4,58	4,26	5,78	5,77	4,91
Var.	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Med.	3,85	3,81	3,78	3,76	3,73	3,79	3,76
Máx.	3,92	3,88	3,85	3,83	3,84	3,88	3,84
Mín.	3,73	3,64	3,64	3,63	3,58	3,63	3,61
CV_q	1,47	1,79	1,79	1,73	2,03	2,00	1,86

Q_m = Vazão média; σ = Desvio padrão; Q_r = Vazão relativa; CV_q = Coeficiente de variação de vazão; DM = Desvio médio; SQ = Soma quadrado desvio; Var .= Variância; Med .= Mediana; $Máx$.= Máxima; $Mín$.= Mínima.

Inicialmente para referenciar as condições iniciais dos emissores (novos e usados), foram realizadas avaliações utilizando água do Rio São Francisco (proveniente do SAAE, de excelente qualidade) com um tempo de irrigação totalizado de 360h, onde foi possível observar elevados valores de vazão relativa e diferentes valores de vazão média para emissores novos e usados, o que explica os gotejadores serem novos, e para os usados pode ser observado com esses resultados, que os mesmos com o tempo de uso com fertirrigação na cultura da videira, ainda encontravam-se em um bom estado de uso.

Segundo Dalri et al., (2014), avaliando o entupimento de emissores enterrados sob a cultura da cana-de-açúcar, após três safras e condições de fertirrigação, observaram que para a maioria dos tratamentos, não houveram reduções nos valores de vazão média e vazão relativa. No entanto, reduções em valores de vazão podem estar relacionados, segundo Santos et al., (2003) e Silva et al., (2012) ao problema de entupimento nos emissores, devido a qualidade da água em aspecto químico, físico, biológico, como também nas características do gotejador.

Tabela 3. Dados médios de vazão média para emissores com 5 anos de uso, referenciada em horas de irrigação para a pressão de serviço de 150 kPa.

Parâmetros	Água Tratada SAAE		Fertilizantes (Melão)		Fertilizantes (Uva)		
	Tempo de Irrigação (h)						
	24	360	24	96	24	480	816
Q _m	3,50	3,47	3,44	3,42	3,45	3,48	3,44
Q _r (%)	91,26	91,35	89,51	88,96	89,61	90,43	89,40
Σ	0,06	0,10	0,12	0,13	0,07	0,09	0,12
D.M.	0,04	0,06	0,08	0,08	0,04	0,06	0,08
S.Q.	5,77	12,54	20,92	24,42	6,13	10,67	16,45
Var.	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02
Med.	3,51	3,48	3,46	3,44	3,45	3,49	3,47
Máx.	3,59	3,57	3,55	3,54	3,53	3,58	3,54
Mín.	3,33	3,21	3,11	3,07	3,26	3,24	3,14
CV _q	1,88	2,89	3,54	3,80	2,05	2,58	3,38

Q_m= Vazão média; σ = Desvio padrão; Q_r= Vazão relativa; CV_q= Coeficiente de variação de vazão; DM= Desvio médio; SQ= Soma quadrado desvio; Var.= Variância; Med.= Mediana; Máx.= Máxima; Mín.= Mínima.

A partir da utilização da água do Rio São Francisco sem tratamento juntamente com as concentrações de fertilizantes recomendados para a cultura do melão e da uva, durante o tempo de irrigação de 24 a 96 horas e 24 a 816 horas de funcionamento do sistema, os valores de vazão média e vazão relativa pouco variaram, demonstrando que os sais fertilizantes (uréia, cloreto de potássio e superfosfato simples) não causaram obstrução total dos gotejadores, independente do estado de uso dos emissores (usados ou novos).

Resultados semelhantes foram os apresentados por Barros et al., (2009), avaliando a possibilidade do uso de superfosfato simples via fertirrigação por gotejamento, observaram que após 72 horas de aplicação, este causou pequenas variações nos valores de vazão relativa para todos os emissores avaliados.

Para o desvio padrão, verificou-se que quando comparado à média, esta foi baixa para os dois emissores (usados e novos), indicando que os dados de vazões de cada gotejador não oscilaram da média. Enquanto o desvio médio pouco oscilou, demonstrando um comportamento semelhante em todas as avaliações, com pouca variabilidade para os emissores usados e novos.

Em relação à variável coeficiente de variação da vazão, que explica os efeitos da variação da vazão para uma determinada amostra de gotejadores, para todos os tempos de irrigação avaliados, em emissores usados a variação foi de 1,88 a 3,80%, e para emissores novos, a variação foi de 1,47 a 2,03.

Pode ser observado, que os valores de coeficiente de variação de vazão, para emissores usados e novos, apresentaram pouca variabilidade, o que também pode ser observado a pouca variação nos valores de vazão média, ao longo das horas de funcionamento do sistema de irrigação. Os valores comportaram-se dentro de uma faixa aceitável, não excedendo 7%, segundo a norma brasileira NBR ISSO 9261:2006 (ABNT, 2006).

Na Figura 2, para o grau de entupimento houve aumento nos valores para emissores novos e usados, observa-se que foi bem maior no primeiro, com 2,56%, que no segundo com 1,87% ao longo das horas avaliadas.

Para o aumento no grau de entupimento de emissores novos, pode ter ocorrido devido à precipitação química que foram se acumulando nos emissores, aumentando o entupimento em torno de 2,56%, diminuindo dessa forma a vazão de água aplicada.

Para os emissores usados pode ser explicado pelo uso 5 anos na cultura da uva, e com a realização da fertirrigação neste respectivo trabalho, causou obstrução parcial dos emissores, chegando em torno de 11%. Ribeiro et al., (2010), avaliando a susceptibilidade de modelos gotejadores ao entupimento pelo uso de cloreto de potássio, observaram que existem modelos com baixa e alta susceptibilidade, de 8% e 18%, respectivamente.

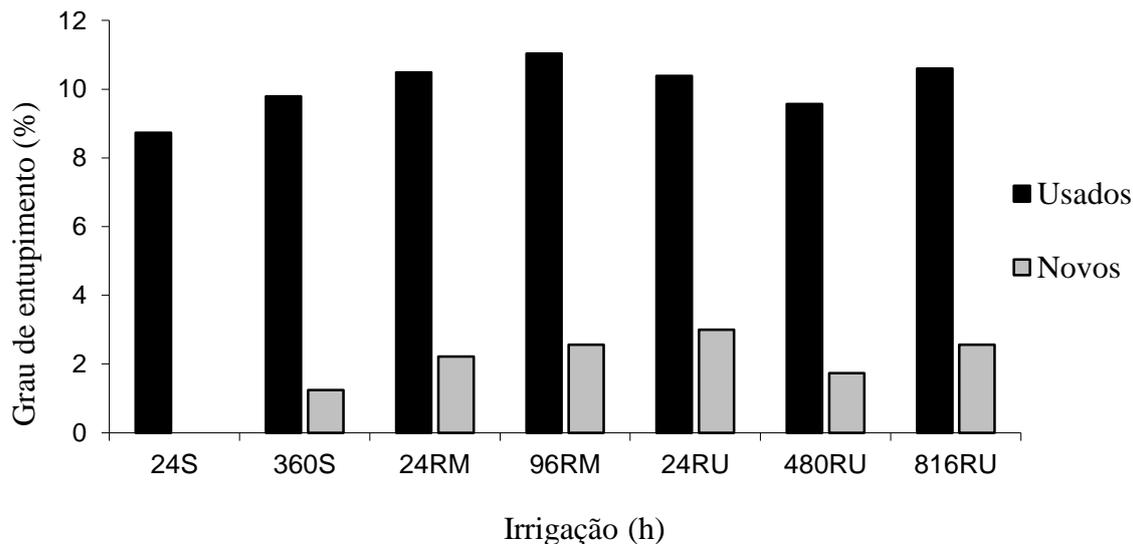


Figura 2. Grau de entupimento (GE) dos emissores usados e novos, referenciado em (horas) de irrigação com S- Água tratada do SAAE; RM- Água do Rio São Francisco com fertilizantes para a cultura do melão e RU- Água do Rio São Francisco com fertilizantes para a cultura da uva.

Na Tabela 4, observa-se um aumento no grau de entupimento, ocorrendo obstruções parciais, estes resultados não interferiram nos valores dos coeficientes de uniformidade. Demonstrando que os mesmos não foram eficientes para prejudicar a uniformidade de água, e a obstrução foi distribuída na linha, entre os dez emissores avaliados, usados e novos.

Para os emissores usados e novos os valores de CUC, foram acima de 97,59%. Embora tenha ocorrido uma variação ao longo do período avaliado foram classificados como desempenho excelente, segundo a classificação de Mantovani (2002).

Os valores de coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD), foram inferiores aos valores de CUC. Os valores de CUD para emissores usados e novos, durante todo o período de avaliações, apresentaram valores acima de 96,46%, classificados como excelentes, tabela 4.

Os valores de coeficiente de uniformidade estatística (CUE) obtidos nesse trabalho foram acima de 96,20% para ambos os casos estudados, foram classificados como excelentes segundo a classificação de Mantovani (2002).

Brauer et al. (2011), avaliando tubos gotejadores de vazão $3,8 \text{ Lh}^{-1}$ e $2,1 \text{ Lh}^{-1}$, quando submetidos a uma água rica em ferro, observaram que no tempo de funcionamento de 1200 h, os valores de CUD e CUC foram acima de 94,4% e 96,4% respectivamente, mantendo a uniformidade do sistema de irrigação excelente.

Nos resultados desse trabalho, para os valores do CUH, não foram tão próximos aos valores de CUC, segundo Rocha et al., (1999), quando a lâmina aplicada pelos emissores tem uma distribuição normal, o CUC será igual ao CUH. Demonstrando nestes resultados, que a lâmina aplicada pelos gotejadores, possivelmente poderia não estar apresentando uma boa distribuição de água.

Tabela 4. Dados médios para emissores usados com 5 anos e emissores novos, utilizando água do Rio São Francisco tratada urbana (SAAE) e sem tratamento com adição de fertilizantes.

Parâmetros	Água do Rio São Francisco						
	Água Tratada (SAAE)		Fertilizantes (Melão)		Fertilizantes (Uva)		
	Tempo de Irrigação (h)						
	24	360	24	96	24	480	816
	Emissores Usados						
GE	8,73	9,79	10,49	11,04	10,39	9,57	10,60
CUC	97,59	97,59	97,75	97,59	97,75	97,75	97,75
CUD	98,17	97,17	96,64	96,51	97,94	97,52	96,46
CUH	89,51	86,89	85,90	85,49	88,93	87,80	85,77
CUE	98,11	97,11	96,46	96,20	97,95	97,42	96,62
	Emissores Novos						
GE	0,00	1,24	2,22	2,56	3,00	1,73	2,56
CUC	98,60	98,60	98,48	98,60	98,48	98,48	98,48
CUD	98,23	97,86	97,76	97,71	97,69	97,41	97,53
CUH	90,33	89,34	89,35	89,51	88,63	88,75	89,13
CUE	98,53	98,21	98,21	98,27	97,97	98,00	98,14

GE - Grau de entupimento; CUC - Coeficiente de Uniformidade de Christiansen; CUD - Coeficiente de Uniformidade de Distribuição, CUE - Coeficiente de Uniformidade Estatístico; Coeficiente de Uniformidade de Hart (CUH).

Segundo Silva et al., (2012), um sistema de irrigação bem projetado é aceitável que haja uma uniformidade de aplicação de água acima de 90%, o que se atende um apropriado índice para a irrigação.

CONCLUSÕES

A fertirrigação não foi capaz de influenciar negativamente a vazão média, vazão relativa e grau de entupimento dos gotejadores novos e nem usados.

Os coeficientes de avaliação de uniformidade, apresentaram pequenos decréscimos, em função do número de horas de funcionamento, contudo permanecendo dentro dos níveis aceitáveis para projetos de irrigação localizada.

Para emissores usados por cinco anos no cultivo de videiras e do meloeiro, não se recomendaria a substituição das linhas laterais do sistema por gotejamento por problemas de obstrução, porém existe a necessidade de reavaliar os parâmetros iniciais de projeto verificando a lâmina média.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, J.L.P. de; ASSIS, J.S. de; COSTA, N.D.; PINTO, J.M. de; DIAS, R. de C.S.; SILVA, C.M. de J. Produção Integrada de Melão no Vale do São Francisco: Manejo e Aspectos socioeconômicos. In: SOBRINHO, R. B.; GUIMARÃES, J. A.; FREITAS, J.de A. D. de; TERAPO, D. (Eds.). **Produção de Melão Integrada**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, Banco do Nordeste do Brasil, 2008. p.43-50.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR ISO 9261**: equipamentos de irrigação agrícola. Emissores e tubos emissores. Especificação e métodos de ensaio. São Paulo, 2006. 17 p.

BARROS, A. C.; COELHO, R. D.; MEDEIROS, P. R. F.; MELO, R. F.; BARBOZA JUNIOR, C. .R. A.; DIAS, S. T. C. Entupimento de gotejadores em função da aplicação de superfosfato simples e ácido nítrico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 1, p. 62-71, 2009.

BISCARO, G. A.; JUNIOR, N. A. de F.; SORATTO, R. P.; KIKUTI, H.; JUNIOR, S. A. R. G.; AGUIRRE, W. M. Nitrogênio em cobertura e molibdênio via foliar no feijoeiro irrigado cultivado em solo de Cerrado. **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, vol. 33, n. 4, p. 665-670, 2011.

BRAUER, R. L. **Dinâmica de entupimento de gotejadores em função da aplicação de água rica em ferro**. Botucatu, 2010. 61p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, 2010.

BRAUER, R. L.; CRUZ, R. L.; VILLAS BÔAS, R. L.; PLETSCH, T. A. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em gotejadores em função do teor de ferro. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 1, p. 21-30, 2011.

DALRI, A. B.; PALARETTI, L. F.; CRUZ, R. L.; ZANINI, J. R.; FARIA, R. T. DE.; SANTOS, G. O. Entupimento de emissores enterrados sob a cultura da cana-de-açúcar após três anos de cultivo em condições fertirrigadas. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial 01, p. 62-71, 2014.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. 2015. Disponível em: <<http://www.cpatsa.embrapa.br:8080/servicos/dadosmet/cem-anual.html>>. Acesso

em: 3 mar. 2016.

FORATTO, L.C.; ZANINI, J.R.; NATALE, W. Teor de fósforo e pH no bulbo molhado, com diferentes frequências de fertirrigação, utilizando ácido fosfórico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.436-444, 2007.

FRIZZONE, J. A., FREITAS, P. S. L., REZENDE, R., FARIA, M. A. **Microirrigação: Gotejamento e Microaspersão**. Editora EDUEM, Maringá: 2012. 356 p. ISBN: 978-85-7628-460-4.

GOMES, H.P. **Sistemas de irrigação: Eficiência Energética**. João Pessoa: Editora da UFPB, p. 73, 2013.

MANTOVANI, E.C. **Avalia**: manual do usuário. Viçosa: DEA/UFV–PNP&D/café Embrapa, 2002.

MANTOVANI, E. C.; FACCIOLI, G. G.; LEAL, B. G.; SOARES, A. A.; COSTA, L. C.; FREITAS, P. S. L. Influence of the water distribution uniformity and irrigation depth on the yield of irrigated bean crop. **Irriga**, Botucatu, v. 14, n. 4, p. 458-469, 2009.

NETTO, J.A.; AZEVEDO, P.V.; P.V.; SILVA, B.B.; SOARES, J.M.; TEIXEIRA, A.H.C. Exigências hídricas da videira na região do submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v.35, n.8, p.1559-1566, 2000.

RIBEIRO, P. A. DE A.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M. B. Entupimento de tubos gotejadores convencionais com aplicação de cloreto de potássio (branco e vermelho) via duas qualidades de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 279-287, 2010.

RIBEIRO, T. A. P.; PATERNIANI, J. E. S.; COLETTI, C. Chemical treatment to unclog drip irrigation systems due to biological problems. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 65, n. 1, p. 1-9, 2008.

ROCHA, E. M. M; COSTA, R.N.T.; MAPURUNGA, S.M.S. CASTRO, P. T. Uniformidade de distribuição água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.3, n.2, p. 154-160, 1999.

SANTOS, C. G. F.; LIMA, V. L. A. de; MATOS, J. de A.; HAANDEL, A. C. V.; AZEVEDO, C.A.V. de. Efeito de uso de águas residuárias sobre a vazão de microaspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.577-580, 2003.

SILVA, L. P.; SILVA, M. M.; CORREA, M. M.; SOUZA, F. C. D.; SILVA, E. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.480-486, 2012.

4. CAPITULO II

INFLUENCIA DO TIPO DE LABIRINTO NA OBSTRUÇÃO DE EMISSORES DO TIPO GOTEJADOR

RESUMO: A busca por emissores na irrigação localizada que permita a eficiência de aplicação de água tem sido objeto de estudo de vários pesquisadores, principalmente em relação ao tópico obstrução química e física. Neste sentido, este trabalho objetivou caracterizar a influência do tipo de labirinto na obstrução de emissores do tipo gotejador, depois de submetidos ao uso por partículas químicas e físicas. Foi realizado um estudo na literatura, demonstrando avanços a respeito de diferentes estruturas de labirintos em emissores do tipo gotejador, e observado o quanto o formato tem influencia na obstrução de emissores. Diante das pesquisas, o labirinto de formato ondulado foi o que apresentou melhores resultados anti-entupimento.

PALAVRAS-CHAVE: Irrigação localizada, Entupimento, Partículas solidas.

INFLUENCE OF THE LABYRINTH TYPE IN OBSTRUCTION OF THE ISSUER DRIPPER TYPE

ABSTRACT: The search for emitters in localized irrigation to allow water application efficiency has been studied by many researchers, especially regarding the topic chemistry and physical obstruction. Thus, this study aimed to characterize the labyrinth a influencia in obstruction-emitting type of dripper, after undergoing the use of chemical and particle physics. A literature study was performed, demonstrating progress with respect to different mazes structures in the drip type emitters, and observed how the format has influence on obstruction of issuers. On the research, the wave-shaped maze showed the best anti-clogging results.

KEYWORDS: localized irrigation, clog, solid particles.

INTRODUÇÃO

Emissores do tipo gotejador tem sido foco de diversas pesquisas na atualidade, na busca por estruturas hidráulicas mais eficientes, principalmente no tópico de favorecer o

tempo prolongado de uso, ou seja, evitar ao máximo o efeito de obstruções ocasionadas pelos mais diversos tipos de partículas.

Como componente chave em sistemas de irrigação por gotejamento, o emissor permite o fluxo lento e uniforme de uma pequena quantidade de água (Liet al., 2013). Ainda segundo o mesmo autor, o trajeto da água dentro do emissor é realizado por canais (labirintos) de tamanho bastante reduzido, que torna o emissor tão susceptível a obstrução por partículas que por ocasião escapam dos sistemas de filtragem.

Essas partículas, segundo Dosoretzet et al., (2011), são dos grupos de natureza física, química e biológica. O primeiro grupo diz respeito a presença de sólidos suspensos; o segundo em relação à concentração elevada de alguns sais que causam precipitações insolúveis; e o terceiro sobre a presença de macromoléculas orgânicas solúveis ou coloidais que podem formar biofilme e desenvolvimento de algas.

Como principal efeito dessa obstrução, temos a redução drástica da variável vazão, que pode diretamente influenciar nos níveis de eficiência a partir dos fatores de uniformidade de aplicação de água e fertilizantes (YAN et al., 2009). Na atualidade, os gotejadores apresentam características particulares, em especial em relação ao tipo de labirinto do emissor, os quais apresentam características em relação ao formato, como por exemplo, retangulares, zigue-zague, ondulado, dentado, entre outros.

Dentro desse contexto, vários estudos já foram desenvolvidos procurando avaliar o diâmetro e anatomia interna dos emissores. Todavia, tem havido relativamente pouca pesquisa com observação nas características da dinâmica do fluido no interior dos emissores (WU et al., 2011; WEI et al., 2012; LI et al., 2013).

Muitos pesquisadores e fabricantes desde a utilização do sistema de irrigação por gotejamento, vem produzindo e melhorando o design e performances dos emissores. Em alguns países, tais como em Israel, temos a criação, o desenvolvimento de design e a experiência de aplicação adequada (LI et al., 2006).

Essas informações sobre os tipos de labirintos existentes em emissores do tipo gotejador podem auxiliar os usuários dos sistemas de irrigação por gotejamento na decisão em relação ao custo benefício, influenciando diretamente na aquisição de produtos de elevada qualidade. Nesse contexto, este estudo foi conduzido com o objetivo de caracterizar a influência do tipo de labirinto na obstrução de emissores do tipo gotejador, após submetidos ao uso por partículas químicas e físicas.

DESCRIÇÃO DO ASSUNTO

Emissores do tipo gotejador foram testados no laboratório de Irrigação da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Campus de Juazeiro-Bahia. Os gotejadores eram do tipo bob, com conexão *in line* inseridos em mangueira de polietileno de 16 mm de diâmetro, vazão nominal de 4 L h⁻¹, espaçamento entre emissores de 0,5 m.

Os tubos gotejadores testados foram adquiridos do perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, localizado no município de Petrolina-PE. Esses gotejadores já vinham sendo utilizados por cinco anos na fertirrigação da videira; os mesmos foram comparados com tubos gotejadores novos de mesma marca e modelo.

Foi montada uma bancada de ensaios para teste de emissores, e os mesmos foram submetidos a fertirrigação, com adubação recomendada para culturas do melão e uva, onde o sistema de irrigação operou por 1.272 horas.

No final do experimento, foi realizado cortes nos emissores usados, e visualizados através de uma lupa eletrônica e fotografados, a fim de demonstrar a estrutura do labirinto do emissor utilizado e a deposição de partículas (química, física e biológica) no seu interior, que percorrem até chegar ao orifício principal de saída. O tipo de labirinto encontrado no emissor, foi caracterizado de acordo com os diferentes formatos apresentados na Figura 3.

Os resultados observados experimentalmente foram comparados com os trabalhos desenvolvidos por Li et al., (2013) e Wei et al., (2012).

Li et al., (2013) analisando diferentes diâmetros de partículas (0.01mm, 0.02mm, 0.04mm, 0.05mm, 0,06mm, 0,08 mm) para testar e monitorar o entupimento, através de um teste Digital Particle Image Velocimetry (DPIV), com base numa simulação para grandes escalas, usando os modelos (LES) e modelo padrão ke para cálculo da trajetória das fases, líquida e sólida no labirinto dos emissores do tipo gotejador. O modelo Large Eddy Simulation (LES) é uma técnica muito utilizada para simulação de escoamentos turbulentos (BÁRBARO, 2010). E o modelo padrão ke que apesar da palavra “modelo” em seu nome, é uma teoria de identificação da interação de partículas específicas (KANE, 2003).

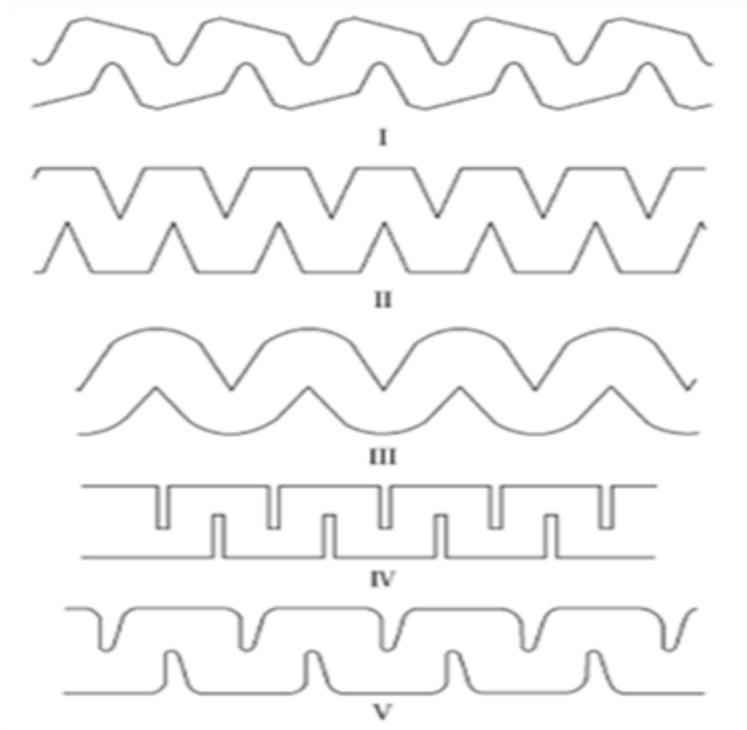


Figura 3. Estruturas de canais (labirintos) em emissores. I – Labirinto tipo tortuoso; II – labirinto tipo trapezoidal; III – labirinto tipo ondulado; IV – labirinto tipo retangular; V – labirinto tipo misto (retangular e ondulado). (Retirado de YAN et al., 2009).

Wei et al., (2012) estudaram o comportamento do fluxo (água misturada com areia) que escapa do sistema de filtragem para o canal do labirinto dos emissores do tipo gotejador e o mecanismo anti-entupimento, através da análise da dinâmica de fluidos computacional (CFD) realizada com duas fases, sólida e líquida no labirinto dos emissores, com o auxílio também do Digital Particle Image Velocimetry (DPIV). A Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) é uma ferramenta de simulação bastante utilizada para a previsão, visualização e investigação do movimento d'água em gotejadores, que pode ser utilizada em emissores com geometrias complexas cujos resultados das simulações podem ser semelhantes a dados experimentais (ALVES, 2014).

A Velocimetria por Imagem de Partículas (Particle Image Velocimetry - PIV) é uma técnica que possibilita a medição da velocidade de escoamento de partículas (RAFFEL et al., 1998). A técnica PIV tem hoje muitas variações da aplicação e, entre elas, Digital Particle Image Velocimetry (DPIV), que consiste na análise posterior de imagens digitais capturadas do escoamento. Após o tratamento adequado da imagem, aplica-se a técnica PIV para a obtenção dos dados necessários (GUTKOSKI, 2001).

Influência do tipo de labirinto na obstrução de emissores do tipo gotejador

Em relação aos testes de laboratório, utilizando emissores com 5 anos de uso, o labirinto encontrado foi do tipo trapezoidal, o que demonstrou que após submetido aos sais fertilizantes, apresentaram deposição de sais no seu interior (Figura 4). O que demonstra que esse formato, não permite a passagem das partículas por completo, e as mesmas ficam depositadas nos cantos, ocasionando após um determinado tempo de uso o entupimento dos emissores.



Figura 4. Descrição detalhada do modelo de gotejador submetido a fertirrigação na cultura do melão e uva, após 1.272 horas de funcionamento do sistema de irrigação, Juazeiro-BA, 2015.

Além disso, o diâmetro reduzido desse labirinto também pode ter apresentado influência na deposição dessas partículas, que segundo Li et al. (2006), a largura do percurso de escoamento de um emissor, geralmente, é de 0,6 a 1,3 mm; o que pode perceber que se trata de um diâmetro pequeno para a passagem de água e partículas, o que pode levar facilmente a uma obstrução.

Segundo Dalri et al. (2015), existem muitos tipos de emissores no mercado, alguns são fabricados com diâmetro de seção ainda mais reduzido, na busca de baixas vazões, enquanto outros, são feitos com diâmetro de seção o maior possível para reduzir o risco de entupimento, que se apresenta como um dos principais problemas no manejo dos sistemas de irrigação localizada utilizando emissores do tipo gotejadores.

Em relação a obstrução dos emissores, temos dois principais fatores que são o diâmetro do labirinto e o tamanho das partículas sólidas, uma vez que estas partículas precisam ser compatíveis com a seção de escoamento, para que não ocorra a deposição das partículas, e sim o deslocamento das mesmas até os orifícios de saída dos gotejadores.

Em estudos realizados por Wei et al., (2012) e Li et al., (2013), sobre a caracterização de emissores com diferentes tipos de labirintos, quando obstruídos pelo uso de sais fertilizantes, partículas como areia com diferentes tamanhos, trazem informações do quanto estas condições interferem no processo de vazão, e consequentemente na uniformidade de distribuição de água e fertilizantes.

Segundo Wei et al., (2012) estudando o fluxo de água e areia em labirintos, com formato retangular e zig-zag; a partir dos resultados da Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD), demonstraram que o modelo de Turbulência do fluido foi mais adequado do que o modelo de fluxo laminar, observando que havia vários escoamentos circulares e com velocidade baixa em algumas regiões do labirinto e, tudo isso ocasionava a precipitação de partículas nos cantos, levando ao entupimento. Os resultados estão apresentados na Figura 5.

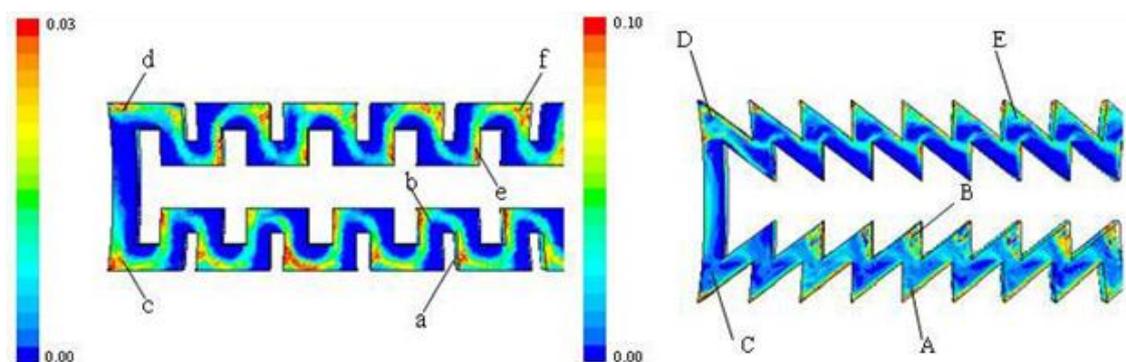


Figura 5. Distribuição de partículas no campo de fluxo nos labirintos dos emissores identificados pelas letras Aa, Bb, Cc, Dd e Ee. (Retirado de WEI et al., 2012).

Tais características de escoamentos circulares e com baixa velocidade devem ser evitadas, afim de reduzir drasticamente o efeito de depósitos de sedimentos no interior dos labirintos e consequentemente a obstrução dos mesmos. Sendo com isso, proposto um novo projeto estrutural de labirintos com a mesma dimensão de diâmetro (WEI et al., 2012) (Figura 6).

Diante dos resultados encontrados utilizando o novo projeto estrutural de labirintos com formatos ondulados, verificaram-se excelentes desempenhos em relação ao avanço das partículas ao longo do percurso do labirinto, como também, maiores velocidades de escoamento em todo o trajeto; reduzindo consideravelmente as chances de entupimento (WEI et al., 2012).

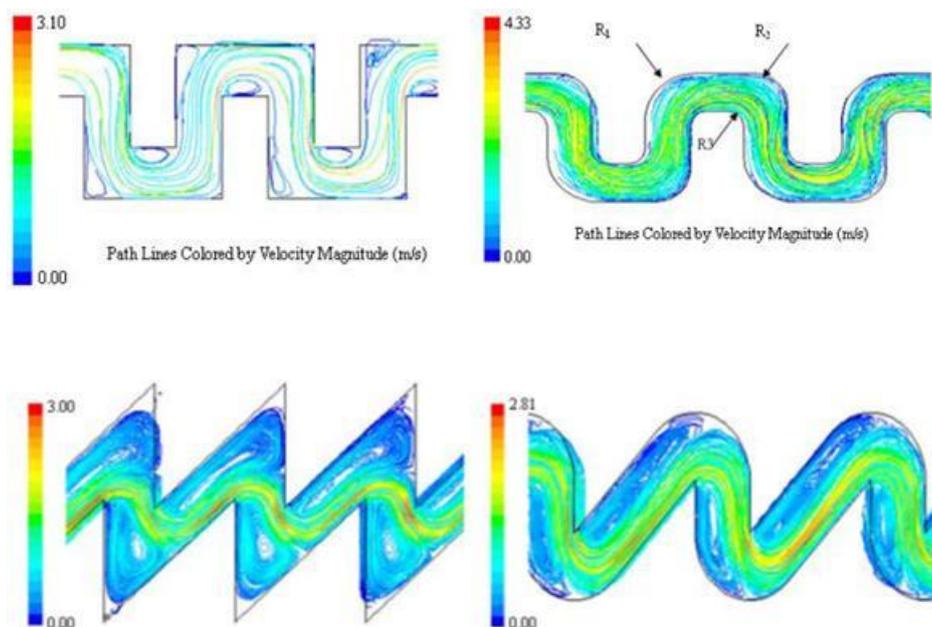


Figura 6. Novo Projeto estrutural com labirintos otimizados, de formato ondulado. (Retirado de WEI et al., 2012).

Li et al., (2013), exibiram dois modelos de cálculo e ambos apresentaram uma ótima visualização do fluxo do emissor. Embora a precisão computacional obtida com o modelo LES foi maior do que com o modelo padrão ke; o modelo padrão ke foi aplicado para analisar o fluxo de diferentes diâmetros de partículas (0.01mm, 0.02mm, 0.04mm, 0.05mm, 0,06mm, 0,08 mm) em gotejadores de canal cilíndrico, sendo possível observar que a concentração de partículas aumenta quando o tamanho das partículas aumenta. Como também, a região com a maior potencial para concentração de partículas está localizada nos cantos dos labirintos dos emissores, corroborando com WEI et al., (2012), e resultados experimentais deste estudo.

Li et al. (2013) apresentaram as seções de análise de depósito de partículas no interior do labirinto, ambas simétricas e localizadas na região intermediária de percurso encontra-se a distribuição da concentração de partículas com diâmetro de 0,08 mm, onde pode ser observado que a distribuição foi semelhante na mesma seção das duas unidades estruturais, em meio da seção foram escolhidos para o estudo das características de concentração em detalhe (Figura 7).

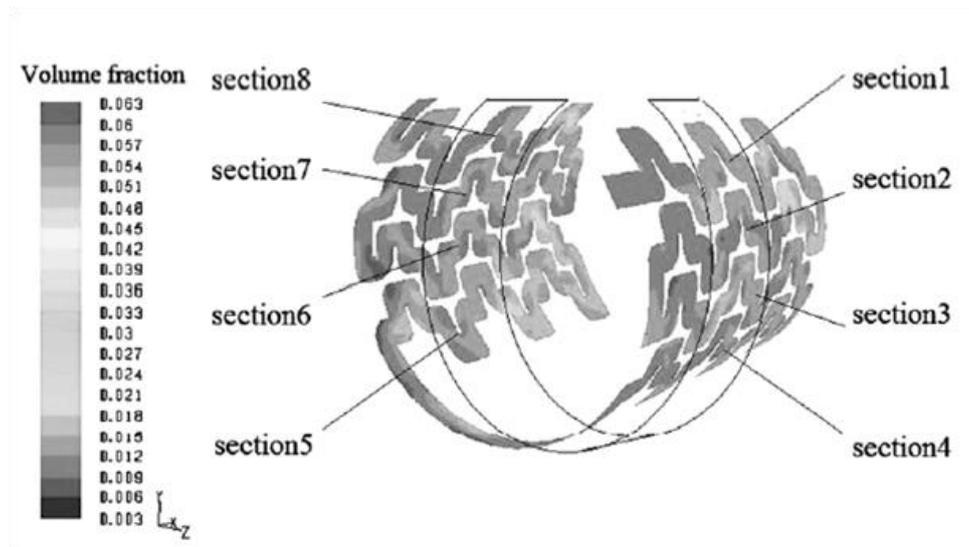


Figura 7. Distribuição da concentração de partículas com diâmetro de 0,08 mm. (Retirado de LI et al., (2013).

Na Figura 8 apresentam-se as estruturas simétricas nas seções 1 e 8, 2 e 7, 6 e 3, 4 e 5. Observa-se que existe uma alta concentração de partículas, em especial para as seções 1, 4, 5, e 8, representadas pelos cantos do labirinto, por serem regiões estreitas e de difícil fluidez, principalmente para partículas com diâmetro de 0,08 milímetros. Partículas de diâmetro 0,01 milímetros foram uniformemente distribuídas em todo o trajeto do fluxo, o que indica que tais partículas tem um elevado grau de mistura com a água.

Portanto, o entupimento nos canais (labirintos) dos emissores é um grande desafio para operação e manutenção de um sistema de irrigação por gotejamento, tendo levado muitos irrigantes ao insucesso. No entanto, é necessário trazer experiências e recomendações na melhor escolha de equipamentos do sistema de irrigação utilizando emissores do tipo gotejador.

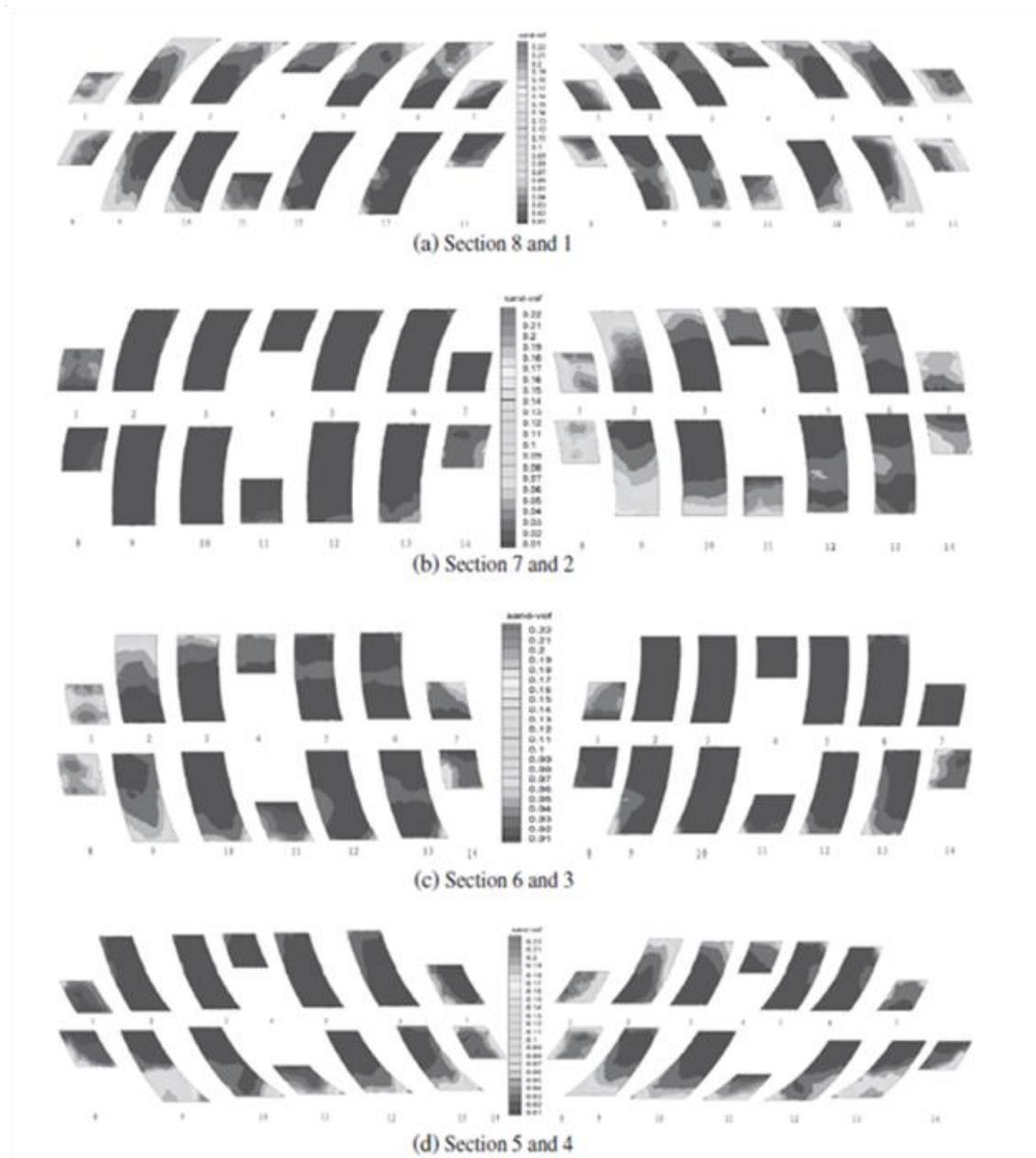


Figura 8. Concentração de distribuição das seções transversais paralelas. (Retirado de LI et al., (2013).

Para isso, segundo Wu et al. (2011), destacam que a observação do formato do labirinto nos emissores, e a análise das características do fluido que percorre o mesmo, é necessário, pois fornece informações para que muitos projetistas desenvolvam designers de gotejadores adequados, uma vez que segundo Zhu et al. (2010), a finalidade principal do projeto de irrigação por gotejamento é a distribuição uniforme de água pelos gotejadores.

No entanto, os emissores constituem-se na peça principal, e a escolha de um emissor deve seguir a avaliação detalhada de suas características, na busca por elevado desempenho.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que é necessária a utilização de canais (labirintos) que favoreçam o avanço das partículas ao longo do percurso, como também, maiores velocidades de escoamento em todo o trajeto, reduzindo assim, os problemas de entupimento, sendo a escolha do tipo de emissor um fator decisivo no elenco de medidas a serem consideradas.

O desenvolvimento de gotejadores deve ser incentivado nos centros de pesquisas, buscando estruturas mais eficientes, que seu tempo de uso seja prolongado, baixo custo, que seja ambientalmente seguro e que evite ao máximo o entupimento.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

ALVES, D.G. **Modelagem e caracterização hidráulica de microtubos com múltiplas saídas**. 2014. 102 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Sistemas Agrícolas). Universidade de São Paulo - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 2014.

BARBARO, E.W. **Investigação da camada limite planetária noturna na região metropolitana de São Paulo utilizando o modelo LES**. 2010. 9p. Dissertação (Mestrado em ciências) - Universidade de São Paulo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas. São Paulo, 2010.

DALRI, A. B.; GARCIA, C.J.B.; ZANINI, J.R.; FARIA, R.T.; PALARETTI, L.F. Caracterização técnica e desempenho hidráulico de quatro gotejadores autocompensantes utilizados no Brasil. **Ciência Rural**. Santa Maria, v.45, n.8, p.1439-1444, 2015.

DOSORETZ, C.; TARCHITZKY, J.; KATZ, I.; KENIG, E.; CHEN, Y. Development and effects of a fouling layer in distribution and irrigation systems applying treated wastewater effluents. **Blackwell Publishing**, Oxford, p.328-350, 2011.

GUTKOSKI, L. L. **Ferramenta computacional para a medição de campos de velocidades utilizando processamento digital de imagens**. 2001. 104p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

- KANE, G. The dawn of physics beyond the standard model. **Scientific American**. p. 75, 2003.
- RAFFEL, M. et al. Particle image velocimetry: a praticle guide. Berlim: Springer Verlag, 1998.
- LI, Y; LIU, H.; YANG, P.; WU, D. Analysis of tracing ability of different sized particles in dripirrigation emitters with computational fluid dynamics. **Irrigation and Drainage. Irrig.and Drain**. v. 62, p.340–351, 2013.
- LI, Y; YANG, P.; REN, S.; XU, T. Hydraulic characterizations of tortuous flow inpath drip irrigation emitter. **Journal of Hydrodynamics**. v. 18, p.449-457, 2006.
- WEI, Z.Y.; CAO, M.; LIU, X.; TANG, Y.P.; LU, P.H. Flow behavior analysis and experimental investigation for emitter micro-channels. **Chinese Journalof Mechanical Engineering**, v.25, p. 1–9, 2012.
- WU, D.; LI, Y.K.; LIU, H.S.; YANG, P.L.; SUN, H.S.; LIU, Y.Z. Simulation of the flow characteristics of drip irrigation emitters with large eddy methods. **Mathematical and Computer Modelling**. v.58, p.497-506, 2011.
- YAN, D.; BAI, Z.; MIKE, R.; GU, L.; REN, S., YANG, P. Biofilm structure and its influence on clogging in drip irrigation emitters distributing reclaimed wastewater. **Journal of Environmental Sciences**. Beijing, v. 21, n. 6, p. 834-841, 2009.
- ZHU, D. L.; WU, P. T.; MERKLEY, G. P.; JIN, J. Drip irrigation lateral design procedure based on emission uniformity and field microtopography. **Irrigation and Drainage**, v. 59, n. 5, p. 535–546, 2010.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA REVISÃO

ADIN A & SACKS M. Dripper-clogging factors in wastewater irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Engineering**, v.117, n.6, p.813-826, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR ISO 9261**: equipamentos de irrigação agrícola. Emissores e tubos emissores. Especificação e métodos de ensaio. São Paulo, 2006. 17 p.

BATISTA, R.O.; SOUZA, J.A.R.; FERREIRA, D.C. Influência da aplicação de esgoto doméstico tratado no desempenho de um sistema de irrigação. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 57, n.1, p. 018-022, 2010.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa, MG: UFV, 2006. 625p.

BRAUER, R. L. **Dinâmica de entupimento de gotejadores em função da aplicação de água rica em ferro**. 2010. 59 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio De Mesquita Filho”, Botucatu, 2010.

BUCKS, D. A.; NAKAYAMA, F. S.; GILBERT, R.G. Trickle irrigation water quality and preventive maintenance. **Agricultural Water Management**. Amsterdam, v.2, n.2 p.149-162, 1979.

CALZADILLA, A. REHDANZ, K. TOL, R.S.J. The economic impact of more sustainable water use in agriculture: A computable general equilibrium analysis. **Journal of Hydrology**. p.292–305, 2010.

CAMARGO, D. C. **Uniformidade de distribuição de potássio utilizando diferentes fontes e concentrações na calda de fertirrigação em condições de campo**. 2010. 66 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

CAMARGO, A, P.; MOLLE, B.; TOMAS, S.; FRIZZONE, J, A. Assessment of clogging effects on lateral hydraulics: proposing a monitoring and detection protocol. **Irrigation Science**, v. 32, n. 3, p. 181–191, 2014.

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. Emitter and filter test for wastewater reuse by drip irrigation. **Agricultural Water Menagement**, Amsterdam, v. 68, n.2, p.135–149, 2004.

CARARO, D. C. **Manejo de irrigação por gotejamento para aplicação de água residuária visando a minimização do entupimento de emissores**. 2004. 130 p. Tese

(Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

CARARO, D.C.; BOTREL, T.A.; HILLS, D.J.; LEVERENZ, H.L. Analysis of clogging in drip emitters during wastewater irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph. v.22, n.2 p. 251-257, 2006.

CARVALHO, L.C.C. **Dinâmica do entupimento de tubos gotejadores sob aplicação de ferro solúvel, sólidos em suspensão e fitoplâncton**. 2009. 155f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade de São Paulo “Júlio De Mesquita Filho”, Piracicaba, 2009.

CARVALHO, L. C.C.; COELHO, R. D.; TEIXEIRA, M.B.; SOARES, F. A. L.; CUNHA, F. N.; SILVA, N. F. Tubos gotejadores convencionais submetidos a aplicação de óxido de ferro via água com carga orgânica e sólidos suspensos. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**. Fortaleza-CE, v.9, nº.2, p. 32 - 41, 2015.

FORATTO, L.C.; ZANINI, J.R.; NATALE, W. Teor de fósforo e pH no bulbo molhado, com diferentes frequências de fertirrigação, utilizando ácido fosfórico. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.2, p.436-444, 2007.

FRIZZONE, J. A., FREITAS, P. S. L., REZENDE, R., FARIA, M. A. **Microirrigação: Gotejamento e Microaspersão**. Editora EDUEM, Maringá: 2012. 356 p. ISBN: 978-85-7628-460-4.

GIL, M. RODRIGUES-SINOBAS, L. JUANA, L. SANCHEZ, R. LOSADA, A. Emitter discharge variability of subsurface drip irrigation in uniform soils: effect on water-application uniformity. **Irrigation Science**. Madrid, v. 26, n. 6, p. 451-458. 2008.

GILBERT, R.G.; NAKAYMA, F.S.; BUCKS, D.A. Trickle irrigation: prevention of clogging. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 3, p.133-148, 1979.

GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A (Ed.). Trickle irrigation for crop production. Amsterdam: **Elsevier**, 1986. cap. 3, p. 142-163.

KATSURAYAMA, G. T. **Metodologia para dimensionamento do intervalo de pressões de operação de linhas laterais de microirrigação com emissores do tipo microtubo**. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistema Agrícolas). Escola Superior de Agricultura “Luís de Queiroz”. Piracicaba. 2015.

LEITE, J. A. O. **Avaliação da susceptibilidade de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos de carbonato de cálcio**. 1995. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras –UFLA, Lavras, 1995.

LIU, H.S.; LI, Y.K.; LIU, Y.Z.; YANG, P.L.; REN, S.-M.; WEI, R.J.; XU, H.B. Flow characteristics in energy dissipation units of labyrinth path in the drip irrigation emitters with dpiv technology. **Journal of Hydrodynamics**. v.21, p.137-145., 2009.

LÓPEZ, J. R.; ABREU, J. M. H.; REGALADO, A. P; HERNÁNDEZ, J. F. **Riego localizado**. 2 ed. Madrid: Mundi-Prensa, 1997. 405 p.

LUDWIG, R. **Dimensionamento da linha lateral utilizando dois espaçamentos entre gotejamentos**. 2012. 81 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2012.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 2. ed., atual. Ampl. Viçosa, MG: UFV, 2009, 355p.

MATTAR, M.A.; ALAMOUD, A.I. Artificial neural networks for estimating the hydraulic performance of labyrinth-channel emitters. **Computers and Electronics in Agriculture**. p. 189–201, 2015.

NAKAYMA, F. S.; BUCKS D. A. Trickle irrigation for crop production, design, operation and management. **New York: Elsevier**, 1986. 383 p.

NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. Water quality in drip/trickle irrigation: A review. **Irrigation Science**, New York, v.12,p.187-92, 1991.

NASCIMENTO, J.M.S.; LIMA, L.A.; CARARO, D.C.; CASTRO, E.M.; SILVA, M.V.G. Avaliação da uniformidade de aplicação de água em um sistema de gotejamento para pequenas propriedades. **Ciências e Agrotecnologia**. Lavras, v. 33, Edição Especial, p. 1728 -1733, 2009.

OLIVEIRA, M. V. A. M.; VILLAS BOAS, R.L. Uniformidade de distribuição do potássio e do nitrogênio em sistema de irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**. vol. 28, n.1, p. 95-103, 2008.

OLIVEIRA, S. L. de; COELHO, E. F.; BORGES, A. L. Irrigação e fertirrigação. **Frutas do Brasil- Banana Produção**, v.1, 2007.

PARIZI, A.R.C. **Efeito de diferentes estratégias de irrigação sob as culturas de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*) e milho (*Zea mays L.*) na região de Santiago, RS**. 2007. 125p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2007.

PATERNIANI, J.E.S.; PINTO, J.M. Qualidade da água: importância da água na agricultura. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. cap. 4, p. 195-253. (Série Engenharia Agrícola).

PAULINO, J. FOLEGATTI, M.V.; ZOLIN, C.A.; ROMÁN, R.M.S.; JOSÉ, J.V. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o Censo Agropecuário de 2006. **Irriga**. Botucatu, v. 16, n. 2, p. 163-176, 2011.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. Madrid, Mundi-Prensa. 471p., 1990.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SCHISCHA, A.; SAGI, G. Control of clogging in drip irrigation with stored reclaimed wastewater. **Irrigation Science**, New York, v.13, p.129-139, 1992.

SANTOS, C. G. F.; LIMA, V. L. A.; MATOS, J. DE A.; HAANDEL, A. C. VAN; AZEVEDO, C. A. V. Efeito de uso de águas residuárias sobre a vazão de microaspersores. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.7, p.577-580, 2003.

SARAIVA, K. R.; DE SOUZA, F. Estatísticas sobre irrigação nas regiões Sul e Sudeste do Brasil segundo o Censo Agropecuário 2005-2006. **Irriga**, Botucatu, v. 17, n. 2, p. 168-176, abr./jun. 2012.

SILVA, D. J.; BORGES, A. L. Fertilizantes para fertirrigação. In: BORGES, A. L.; COELHO, E. F., ed. **Fertirrigação em fruteiras tropicais**. 2. ed. rev. ampl. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura Tropical, 2009. p. 20-36.

SILVA, L. P.; SILVA, M. M.; CORREA, M. M.; SOUZA, F. C. D.; SILVA, E. F. F. Desempenho de gotejadores autocompensantes com diferentes efluentes de esgoto doméstico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, p.480-486, 2012.

SCHIMIDT, A.P.R.A. **Efeito da espessura da parede no desempenho hidráulico de mangueiras gotejadoras**. 2014. 60f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu, 2014.

SMAJSTRLA, A.G. **Prevention of microirrigation emitter clogging**. In: SOUTH TEXAS IRRIGATION CONFERENCE, 1991. Hondo. Proceedings...hondo: Texas Agricultural Extension Service, 1991. p. 132-139.

SOUZA, J.A.A.; CORDEIRO, E.A. & COSTA, E.L. Aplicação de hipoclorito de sódio para recuperação de gotejadores entupidos em irrigação com água ferruginosa. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, p.5-9, 2006.

VILLAS BÔAS, R.L.; BÜLL, L.T.; FERNÁNDEZ, D.M. Fertilizantes em fertirrigação. In: FOLEGATTI, M.V. (Coord.). Fertirrigação: cítrus, flores e hortaliças. Guaíba: Agropecuária, 1999. p.293-319.

VILLAS BÔAS, R. L.; OLIVEIRA, M. V. M. de; MOTA, P. R. A; BETTINI, M. O. Fertirrigação no Brasil, técnica inovadora nos cultivos irrigados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FERTIRRIGAÇÃO, 1., João Pessoa, 2003. **Anais...** João Pessoa. UFPB / CCA, 2003. 1 CD-ROM.

VITI, G.C.; BOARETTO, A.E. Fertilizantes fluidos. Piracicaba: POTAFÓS, 1994. p.261-281.

WEI, Q.; SHI, Y.; DONG, W.; LU, G.; HUANG, S. Study on hydraulic performance of drip emitters by computational fluid dynamics. **Agricultural water management**. v.84, p.130-136. 2006.

WEI, Z.Y.; CAO, M.; LIU, X.; TANG, Y.P.; LU, P.H. Flow behavior analysis and experimental investigation for emitter micro-channels. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, v. 25, p. 1-9, 2012.