

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DE MEMBRANA DE TUBOGOTEJADOR EM FUNÇÃO DO TEOR
DE FERRO NA ÁGUA**

RIGLÉIA LIMA BRAUER

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

BOTUCATU-SP

Julho – 2014

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DE MEMBRANA DE TUBOGOTEJADOR EM FUNÇÃO DO TEOR
DE FERRO NA ÁGUA**

RIGLÉIA LIMA BRAUER

Orientador: Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz

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

BOTUCATU-SP

Julho – 2014

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

B825a Brauer, Rigléia Lima, 1980-
Avaliação de membrana de tubogotejador em função do teor de ferro na água / Rigléia Lima Brauer. - Botucatu : [s.n.], 2014
xiii, 76 f. : fots. color.; grafs. color., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2014

Orientador: Raimundo Leite Cruz

Inclui bibliografia

1. Irrigação por gotejamento. 2. Água de irrigação - Qualidade. 3. Resistência de materiais. I. Cruz, Raimundo Leite. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO DE MEMBRANA DE TURBOGOTEJADOR EM FUNÇÃO
DO TEOR DE FERRO NA ÁGUA"

ALUNA: RIGLÉIA LIMA BRAUER

ORIENTADOR: PROF. DR. RAIMUNDO LEITE CRUZ

Aprovado pela Comissão Examinadora



Prof. Dr. RAIMUNDO LEITE CRUZ



Prof. Dr. ANTONIO EVALDO KLAR



Prof. Dr. RODRIGO DOMINGUES BARBOSA



Prof. Dr. LUIZ ANTONIO DE ANDRADE



Prof. Dra. TALITA APARECIDA PLETSCH

Data da Realização: 24 de julho de 2014

AGRADECIMENTOS

A Deus, por se fazer presente nos caminhos por nós incompreendidos, mas que conduzem à luz, ao amor e a felicidade.

A meus pais, Rosselini e Elaine (sempre presente), por contribuir na formação de meus valores e princípios mais nobres, por todo apoio, suporte e incentivo nos momentos mais difíceis... sempre amarei vocês...

Aos meus irmãos Antonieta e Fernando, por sempre me apoiarem e incentivarem em todos os momentos, mesmo em silêncio e a distância. Amo vocês...

Ao meu marido e companheiro Gian e filho Gian Pietro, pelo muito que abdicaram da minha convivência e de tudo que as cercavam, em solidariedade ao meu objetivo. Amo vocês...

Aos meus sogros Arlete e Adair, por todo incentivo recebido.

A Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Campus de Botucatu – SP e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Irrigação e Drenagem), por terem me recebido e pela oportunidade de realização do curso.

A coordenação de aperfeiçoamento de Pessoal de ensino Superior – CAPES, pelo apoio financeiro fundamental à pesquisa e a bolsista.

Ao professor Dr. Raimundo Leite Cruz, pela sua presença como orientador e amigo, pelo incentivo, apoio e oportunidades concedidas.

Ao professor Dr. Eduardo Nardini Gomes e Dorinha, pelos incontáveis auxílios no decorrer do desenvolvimento do trabalho e pelo convívio.

Aos professores Dr. Edmar José Scaloppi e Marcelo Domingos Chamma Lopes pela oportunidade em receber o fundamental auxílio no estágio docência.

Ao amigos e funcionários do Departamento de Engenharia Rural (UNESP-FCA) Gilberto Winckler e Biral que colaboraram de forma direta na realização deste trabalho com muito bom ânimo, amizade, sabedoria e humildade, sem esperar nada em troca, meu sincero agradecimento.

A querida amiga, comadre e funcionária do Departamento de Engenharia Rural (UNESP-FCA) Rafaela Vizenzzotto pela incondicional amizade e dedicação; pelos momentos de “gordice” diários, pelas palavras sinceras e confortantes, muito obrigada.

Aos amigos e amigas Talita, Alessandra, Ana, Rai Monteiro, Gêssica, Lívia, Josué, Ilca, Gisele, Márcia, “Dija”, “Zu”, “Isra”, João, “seu” Fernando e tantos outros que se fizeram importantes em minha vida, muito obrigada. Certamente nossa amizade perdurará independentemente do tempo e da distância.

Aos amigos que já se foram nos deixando saudades pelos bons momentos e alegria proporcionados.

À NaanDanJain, na pessoa de Edson Zanon e a Petroisa, na pessoa do Dr. Luiz Antônio de Andrade, que doaram material para a realização do trabalho, por não medirem esforços para

estreitar os laços de união com a universidade, contribuindo para o desenvolvimento de pesquisas aplicadas as necessidades do mercado, meus sinceros agradecimentos.

Ao amigo, prof. Dr. Rone Batista de Oliveira, por me ajudar no decorrer do desenvolvimento da dissertação, principalmente com a parte estatística.

Aos professores do Curso de Pós-Graduação em Irrigação e Drenagem, pelo apoio, amizade, dedicação à ciência e humildade.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural (UNESP-FCA), da seção de Pós-Graduação e da Biblioteca pela gentileza e simpatia no atendimento prestado.

A todos os colegas do Curso de Pós-Graduação, pela convivência e pelo companheirismo no decorrer do curso.

Enfim, para todos aqueles que de alguma maneira colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE QUADROS.....	XI
LISTA DE TABELAS.....	XII
1 RESUMO.....	01
2 SUMMARY.....	02
3 INTRODUÇÃO.....	03
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	05
4.1 Panorama da irrigação no Brasil.....	05
4.2 Irrigação localizada por gotejamento.....	08
4.3 Problemas de obstruções de emissores.....	09
4.3.1 Obstruções de gotejadores devido a sólidos em suspensão.....	11
4.3.2 O efeito das ferrobactérias na obstrução de gotejadores.....	11
4.3.3 Obstrução de gotejadores devido a fatores químicos.....	15
4.4 Ataque químico a membranas gotejadoras.....	15
4.5 Característica hidráulica dos emissores autocompensantes.....	17
4.6 Parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de água.....	19
4.6.1 Uniformidade de distribuição (CUD).....	20
4.6.2 Coeficiente de variação de fabricação (CVf).....	21
5 MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
5.1 Descrição da estrutura experimental e funcionamento do sistema.....	23

5.2 Análise da água e seu preparo para irrigação.....	29
5.3 Parâmetros avaliados.....	31
5.4 Delineamento estatístico	31
5.5 Determinação da vazão, do coeficiente de variação de fabricação e do coeficiente de uniformidade de distribuição.....	33
5.6 Determinação da variação do volume das membranas de compensação de pressão dos gotejadores pela ação do ferro	36
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
6.1 Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)	38
6.2 Coeficiente de variação de vazão (CVq).....	40
6.3 Vazão média ($Q_{média}$).....	42
6.4 Densidade relativa (D_r)	44
6.5 Ajuste de equações de vazão em função do tempo de funcionamento	46
7 CONCLUSÕES.....	49
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1: Processos biológicos de formação de mucilagens.	13
Figura 2: Sequência da corrosão por pites e obstrução de uma tubulação de ferro por efeito de ferrobactérias redutoras de enxofre (BRS)	14
Figura 3: Exemplos típicos de emissores utilizados em um sistema de irrigação por gotejamento	18
Figura 4: Diferenças geométricas do elastômero sob a ação de diferentes pressões.....	19
Figura 5: Vista geral dos canteiros	25
Figura 6: Vista do canteiro e das linhas gotejadoras	26
Figura 7: Esquema do experimento	27

Figura 8: Modelo de gotejador da NAANDAN	28
Figura 9: Picnômetro de Hubbard	36
Figura 10: Significância dos valores médios do CUD em função do teste T a 5% de probabilidade	39
Figura 11: Valores médios do CUD, para as doses de 0,44 mg L ⁻¹ e 5,0 mg L ⁻¹ de ferro em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação	39
Figura 12: Significância dos valores médios do CVq em função do teste T a 5% de probabilidade	41
Figura 13: Valores médios do CVq, para as doses de 0,44 mg L ⁻¹ e 5,0 mg L ⁻¹ de ferro em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação	41
Figura 14: Significância dos valores médios de Q _{média} em função do teste T a 5% de probabilidade	43

Figura 15: Valores médios de $Q_{\text{média}}$, para as doses de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação 43

Figura 16: Significância dos valores médios de D_r em função do teste T a 5% de probabilidade 45

Figura 17: Valores médios de D_r , para as doses de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação 45

Figura 18: Correlações entre vazão média e o tempo de funcionamento em horas para os 2 tratamentos: (a) dose de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e (b) dose de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ de Fe 47

LISTA DE QUADROS

Página

Quadro 1: Distribuição regional da irrigação no Brasil	07
--	----

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: Principais elementos físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada	10
Tabela 2: Sugestão para classificação da qualidade de água relacionada a seu potencial de entupimentos em gotejadores	11
Tabela 3: Resistência química de elastômeros	16
Tabela 4: Classificação dos valores de CUD.....	21
Tabela 5: Resultado da análise química do solo da área utilizada no experimento	24
Tabela 6: Resultado da análise física do solo da área utilizada no experimento	24
Tabela 7: Características técnicas do modelo de gotejador	27
Tabela 8: Análise de água	29
Tabela 9: Análise de variância	32
Tabela 10: Análise de variância com CVq (%) sendo a variável analisada	32

Tabela 11: Análise de variância com $Q_{\text{média}}$ ($L h^{-1}$) sendo a variável analisada	33
--	----

1 RESUMO

Com o propósito de avaliar o desgaste da membrana de tubogotejadores autocompensantes em função da água rica em ferro, foi conduzido um experimento na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrônômicas, localizada no município de Botucatu – SP, pelas coordenadas geográficas 22° 49’ S e 48°25’W, tendo a altitude de 770 m. O ensaio corresponde ao desgaste de membranas de tubogotejadores autocompensantes, e foi avaliado o gotejador NaanPC azul da empresa NAANDANJAIN. O experimento foi montado em esquema fatorial 2x13, sendo duas doses de Fe e 13 tempos de funcionamento com três repetições, totalizando 78 parcelas experimentais. Para a condução do ensaio, foram retirados de uma bobina, ao acaso, 18 segmentos de 35 m com 44 emissores em média do tubo gotejador para cada linha de gotejadores, o que resultou na avaliação de um total de 396 gotejadores para cada tratamento, sendo a pressão de serviço foi mantida em 150 ± 15 KPA. A água utilizada no ensaio foi proveniente do lago do Departamento de Engenharia Rural que é comumente utilizado para irrigações de experimentos e, posteriormente foram calculados: Vazão Média, Coeficiente de Variação de Vazão (C.V.Q), Uniformidade de Distribuição da Água (C.U.D) e densidade relativa (D_r). Os resultados obtidos não apontaram diferença significativa em nenhum dos tratamentos para diferentes doses de ferro.

Palavras-chave: Entupimento de gotejadores, Desgaste de membrana gotejadora, Uniformidade de distribuição de água.

2 SUMMARY

WEAR MEMBRANE TUBES DRIPPERS SELF-COMPENSATING FOR EACH OF WATER RICH IN IRON (DRIP IRRIGATION). Botucatu, 2014. 71p. Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista

Author: RIGLÉIA LIMA BRAUER

Adviser: RAIMUNDO LEITE CRUZ

The objective of this study was to evaluate the wear of self-compensating dripline as a function of membrane water rich in iron, an experiment was conducted in the experimental area of the Department of Rural Engineering, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho" - Faculty of Agricultural Sciences, located in Botucatu - SP by the geographical coordinates 22 ° 49 'S and 48 ° 25'W, height 770 m. The test match wear membranes self-compensating dripline, and was rated the dripper NaanPC company NaanDanJain blue. The experiment was a factorial 2x13 scheme, two doses of 13 Fe and run times with three replicates, totaling 78 experimental plots. To conduct the test, were drawn from a coil at random segments of 18 to 35 meters in average emitter 44 dripline for each row of drippers, which resulted in the evaluation of a total of 396 drippers for each treatment. The working pressure was maintained at 150 ± 15 kPa. The water used in the assay were from the Lake of the Rural Engineering Department which is commonly used for irrigation experiments. Subsequently were calculated: Average Flow, Flow Coefficient of Variation (CVQ), Uniformity of Water Distribution (CUD) and relative density (Dr). The results showed no significant difference in any of the treatments at different doses of iron.

Keywords: Clogging of drippers, Wear drip membrane, Uniformity of water distribution

3 INTRODUÇÃO

A irrigação localizada representa um grande avanço na tecnologia de irrigação. Pode ser definida como uma aplicação precisa e lenta de água em apenas uma fração do sistema radicular das plantas. A qualidade da água é um fator essencial, pois problemas com entupimento e desgaste do sistema diminuem a eficiência do mesmo. Desta forma análises das fontes de água são extremamente necessárias, exigindo-se água de boa qualidade, livre de sólidos suspensos e dissolvidos, como o ferro, que pode precipitar e causar problemas no sistema, sendo bastante aconselhável sua análise antes da instalação do sistema de gotejamento.

O entupimento dos emissores está diretamente relacionado á qualidade de água de irrigação que inclui fatores como carga de partícula suspensa, composição química, tipo microbiano e composição da mesma.

No sistema por gotejamento, a qualidade da água deve ser observada, pois ela escoar por orifícios de pequenos diâmetros e com velocidade de escoamento lenta, podendo causar obstrução devido à deposição do material que carrega em suspensão. O entupimento de gotejadores é um grave problema associado ao gotejamento, pois dificulta a operação dos sistemas de irrigação, é de difícil detecção e a limpeza ou substituição dos emissores entupidos é onerosa (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

Na irrigação localizada, vários fatores podem comprometer a uniformidade de distribuição de água, tais como desuniformidade dos emissores devido a processos de fabricação, o dimensionamento inadequado do sistema, bem como o entupimento dos emissores, causado pelas partículas minerais ou orgânicas presentes na água.

Problemas de desuniformidade de vazão também estão associadas a diminuição da vazão nominal do gotejador, devido às obstruções provocadas pela precipitação de CaCO_3 nos reduzidos diâmetros dos condutos e bocais dos emissores e pela lenta

velocidade de escoamento, ou pelo aumento da vazão nominal do gotejador, devido a deposição de materiais na membrana flexível dos gotejadores autocompensantes, assim como pela deterioração da mesma (GILBERT et al., 1981).

Sabe-se que a questão do entupimento de emissores e desgaste da membrana de compensação na irrigação por gotejamento constitui um importante problema que se enfrenta atualmente. Tendo em vista esta questão, neste trabalho objetivou-se a estudar o efeito da ocorrência de precipitados químicos no tubogotejador NaanPC azul, em função do tempo de funcionamento, quando submetidos a uma água rica em ferro, avaliando-se especificamente a vazão média, coeficiente de variação de vazão (CVQ), coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) e densidade relativa (D_r) da membrana de compensação.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Panorama da irrigação no Brasil

Nota-se que a irrigação foi uma das primeiras modificações no ambiente realizadas pelo homem primitivo. As primeiras tentativas de irrigação foram bastante rudimentares, mas a importância do manejo da água tornou-se evidente na agricultura moderna. Tribos nômades puderam estabelecer-se em determinadas regiões, irrigando terras férteis e, assim, assegurando produtividade suficiente para a sua subsistência (COSTA, 2012).

Segundo Brasília (2008), não há indícios da prática de irrigação pelos índios em nosso país. A irrigação foi iniciada bem tarde, em comparação com as primeiras experiências mundiais. O primeiro projeto de irrigação no Brasil começou indiretamente em 1881, no Rio Grande do Sul, por iniciativa privada, com a construção do reservatório Cadro, para permitir o suprimento de água a ser utilizada na lavoura irrigada de arroz, com início efetivo de operação em 1903, e logo após, em 1912, em Cachoeira do Sul também no Rio Grande do Sul, e para o cultivo do arroz.

Segundo Silva (2013), somente a partir de 1950 é que as técnicas de irrigação iniciaram-se no Brasil com bases científicas, respondendo às questões de quanto e quando irrigar. Como procedimento de suprimento de água às plantas, a irrigação leva em conta a quantidade necessária e o momento adequado para se obter, economicamente, a produção ótima e a melhor qualidade do produto.

A irrigação no Brasil, conforme atestam Carvalho et al. (1976), apresenta características diferentes no Nordeste e no Sul. Ainda que tenham surgido nas duas regiões simultaneamente, no início do século, a irrigação desenvolveu-se com características bem diferenciadas. Enquanto no Nordeste as iniciativas nasceram do poder público, no Sul a iniciativa foi predominantemente particular. Em 1974 o Brasil dispunha de 1.500.000 ha de área com infra-estrutura de irrigação. Deste total 1.200.000 ha localizavam-se na região Sul, dos quais apenas 3,5% pertenciam a projetos públicos. Em 1988 o PRONI efetuou uma estimativa básica no Brasil, que apontou para os seguintes valores: área potencialmente irrigável, 52.000.000 hectares: área irrigada, 2.755.000 hectares. Convém destacar que no valor da área irrigada estão computados áreas de projetos que estavam em fase de implantação.

Telles (1993) afirma que, sob determinados aspectos, a irrigação no Brasil pode ser dividida em três grupos: Irrigação “Obrigatória” no Nordeste, Irrigação “Facilitada” no Rio Grande do Sul e Irrigação “Profissional” nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e parte do Sul conforme observado no Quadro 1. A falta de chuvas induz à agricultura irrigada no Nordeste Brasileiro. Tal irrigação, que hoje representa menos de 10% do total brasileiro, inicialmente foi conduzida pelo governo, no sentido da implantação de distritos de irrigação, que tinham mais um efeito social de fixação do homem do campo. Este enfoque mostrou-se ineficiente e o fracasso foi geral. A iniciativa privada foi aos poucos se associando aos empreendimentos, obtendo excelentes resultados, direcionando a exploração para a fruticultura de exportação e para o abastecimento de agroindústrias locais. Dessa forma, surgiram extensas áreas irrigadas por gotejamento e microaspersão na região Nordeste como em Mossoró no Estado do Rio Grande do Norte, onde a fruticultura irrigada produz melão, acerola e manga para a exportação. No Vale do São Francisco áreas irrigadas produzem uvas de excelente qualidade e outros produtos destinados à agroindústria.

A irrigação aqui chamada de “facilitada” no Rio Grande do Sul (Região Sul) devido às extensas áreas, à abundância de água e à topografia adequada, que facilitam sobremaneira a implantação de tabuleiros para a irrigação do arroz. Nesta área está 40% da irrigação do País, utilizando o método de inundação, porém com baixo nível tecnológico. A chamada irrigação “profissional” é aquela em que o agricultor investe em moderna tecnologia de irrigação, visando o aumento da produtividade agrícola, bem como a produção de duas ou

mais colheitas no ano. A irrigação do tipo “profissional” é, atualmente, praticada em cerca de 50% da área total irrigada do País. Se desenvolve, principalmente, nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, no cultivo de cereais, cana de açúcar, frutas e hortaliças. Predomina a irrigação por aspersão mecanizada (pivô central, sistemas autopropelidos e de montagem direta), com pequenas áreas de aspersão convencional e de irrigação localizada (gotejamento e microaspersão).

Quadro 1 – Distribuição regional da irrigação no Brasil

REGIÃO	RESTRIÇÃO E TIPO	FORMA DE EXPLORAÇÃO	PRINCIPAIS CULTURAS	SISTEMAS DE IRRIGAÇÃO
NORTE	DRENAGEM	EMPRESARIAL	ARROZ	INUNDAÇÃO
NORDESTE	IRRIGAÇÃO OBRIGATÓRIA	“PROFISSIONAL” E SOCIAL	FRUTAS FINAS TOMATE ARROZ CANA DE AÇÚCAR	LOCALIZADA AS- PERSÃO/PIVÔ SUPERFÍCIE MON- TAGEM DIRETA
CENTRO - OESTE	IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR E OBRIGATÓRIA	“PROFISSIONAL” GRANDES PRODUTORES	CEREAIS FRUTAS ARROZ	PIVÔ LOCALIZADA SUPERFÍCIE
SUDESTE	IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR	IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR “PROFISSIONAL” PEQUENOS E MÉDIOS PRODUTORES	FEIJÃO E TOMATE FRUTAS E CITROS HORTALIÇAS, CANA DE AÇÚCAR	PIVÔ LOCALIZADA ASPERSÃO MONTAGEM DIRETA
SUL	IRRIGAÇÃO SUPLEMENTAR E DRENAGEM	“FACILITADA”	ARROZ E PASTAGEM	INUNDAÇÃO

Fonte: Telles e Vieira (2001).

Segundo Andrade & Brito (2006), com a expansão rápida da agricultura irrigada no Brasil, muitos problemas têm surgido, em consequência do desconhecimento das diversas alternativas de sistemas de irrigação, conduzindo a uma seleção inadequada do melhor sistema para uma determinada condição. Esse problema tem causado o insucesso de muitos empreendimentos, com consequente frustração de agricultores com a irrigação e, muitas vezes, degradação dos recursos naturais.

4.2 Irrigação localizada por gotejamento

A irrigação localizada é um método de irrigação no qual a água é aplicada diretamente na região radicular da planta, com pequena intensidade e alta frequência, para manter a umidade próxima do ideal, ou seja, da capacidade de campo (BERNARDO et. al., 2006).

Desta forma, a irrigação por gotejamento tem ganhado espaço, principalmente nos últimos 15 anos. Este sistema aplica água em apenas parte da área, reduzindo, assim, a superfície do solo que fica molhada, exposta às perdas por evaporação. Com isso, a eficiência de aplicação é bem maior e o consumo de água menor. A irrigação localizada é usada, em geral, sob a forma de sistema fixo, ou seja, o sistema é constituído de tantas linhas laterais quantas forem necessárias para suprir toda a área, isto é, não há movimentação das linhas laterais. Porém, somente determinado número de linhas laterais deve funcionar por vez, a fim de minimizar a capacidade do cabeçal de controle (BERNARDO et. al., 2006).

A irrigação localizada é a que possibilita o melhor controle da lâmina, por operar a baixas pressões e alta eficiência. Por outro lado, têm-se restrições quanto ao entupimento e, principalmente, ao aumento da vazão, devido ao desgaste dos emissores quando os mesmos são utilizados por um período excessivo (BOMAN & PARSONS, 1993).

De acordo ainda com Bernardo (2006), as principais vantagens da irrigação localizada são:

- maior eficiência no uso da água;
- maior produtividade;
- maior eficiência na adubação;
- maior eficiência no controle fitossanitário;
- não interfere com as práticas culturais;
- adapta-se a diferentes tipos de solos e topografia;
- pode ser usado com água salina ou em solos salinos;
- economia de mão - de- obra.

Andrade et al.(2007) citam outra vantagem da irrigação por gotejamento, quando comparado com a aspersão: a água aplicada na superfície do solo não molha a folhagem ou o colmo das plantas. Essa característica do sistema por gotejamento mostra-se importante, principalmente, quando a irrigação é feita com água residuária, pois diminui o risco da formação de aerossóis que possam depositar microorganismos patogênicos nas plantas.

De acordo Bernardo (2006), as principais desvantagens ou limitações da irrigação por gotejamento seriam o alto custo de implantação e o entupimento dos emissores. Para minimizar a ocorrência do entupimento, a filtragem da água faz parte do próprio sistema, para evitar a obstrução dos gotejadores com partículas minerais ou orgânicas.

4.3 Problemas de obstruções de emissores

O entupimento de emissores é um grave problema associado ao gotejamento, pois dificulta a operação de sistemas de irrigação, é de difícil detecção e sua limpeza e substituição podem ser bastante onerosas (NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

As obstruções dos emissores podem ser causadas por agentes químicos, físicos ou biológicos (Tabela 1). A determinação da causa dessas obstruções pode ser complexa pelo fato de haver vários agentes na água interagindo entre si, agravando o problema, sobretudo de for considerada a natureza dinâmica dos parâmetros de qualidade de muitas águas (RAVINA et al., 1992).

Tabela 1 – Principais elementos físicos, químicos e biológicos que provocam obstruções nos sistemas de irrigação localizada.

Físicos (Sólidos em suspensão)		Químicos (Precipitação)		Biológicos (Bactérias e Algas)	
1.	Partículas inorgânicas	1.	Carbonato de Ca e Mg	1.	Filamentos
	a. Areia	2.	Sulfato de cálcio	2.	Lodo
	b. Silte	3.	Metais pesados:	3.	Depósitos microbiológicos
	c. Argila		a. óxidos		a. Ferro
	d. Plásticos		b. hidróxidos		b. Enxofre
2.	Partículas orgânicas		c. carbonatos		c. Manganês
			d. silicatos	4.	Organismos aquáticos
			e. sulfetos		
		4.	Óleos e outros lubrificantes		
		5.	Fertilizantes:		

Fonte: Ayers e Westcot (1991).

Segundo Pizarro (1996), não se dispõe de um método para avaliar com segurança o risco de obstruções ocasionado pelo uso de uma determinada água de irrigação, isto porque alguns fatores que interferem são variáveis, como o caso da temperatura, que afeta a formação de precipitados e o desenvolvimento de microrganismos, enquanto, outros dependem de produtos adicionados, principalmente fertilizantes. No entanto, é interessante dispor de alguma orientação do tipo quantitativo. Bucks, Nakayama e Gilbert (1979) propuseram uma classificação de qualidade de água para determinar o risco de entupimento dos emissores, apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Sugestão para classificação da qualidade de água relacionada a seu potencial de entupimento em gotejadores.

	Problemas	Unidades	Grau de restrição de uso		
			Nenhuma	Ligeira a moderada	Severa
Físico	Sólidos em suspensão	mg L ⁻¹	<50	50 - 100	>100
	pH	mg L ⁻¹	<7,0	7,0 - 8,0	>8,0
	Sólidos solúveis	mg L ⁻¹	<500	500 - 2.000	>2.000
Químico	Manganês	mg L ⁻¹	<0,1	0,1 - 0,5	>1,5
	Ferro	mg L ⁻¹	<0,1	0,1 - 0,5	>1,5
	Ácido sulfídrico	mg L ⁻¹	<0,5	0,5 - 2,0	>2,0
Biológico	Populações bacterianas	N ² máx. m L ⁻¹	<10.000	10.000 - 50.000	>50.000

Fonte: Nakayama e Bucks (1986).

4.3.1 Obstrução de gotejadores devido a sólidos em suspensão

O entupimento de emissores por causa física está principalmente relacionado com a quantidade de sedimentos que está presente em suspensão na água de irrigação ou que é succionado pelo conjunto motobomba. Partículas de PVC ou fitas de polietileno utilizadas para vedação de rosca em tubos, bem como resto de corpos de pequenos insetos, principalmente formigas e aranhas, estão comumente associadas à ocorrência deste tipo de entupimento; a existência de partículas físicas foi identificada por Gilbert et al. (1981) como a principal causa de entupimento de emissores, com 55% das ocorrências. Boman e Ortemaa (1994) observaram em entrevistas a irrigantes, realizadas na Flórida, EUA, que o entupimento de emissores, por fatores físicos, foi observado em 72% dos entrevistados, estando próximo ao percentual de 54% determinado por Boman (1995), em estudo de campo também na Flórida.

4.3.2 O efeito de ferrobactérias na obstrução de gotejadores

De acordo com Videla (2003), a biocorrosão causada por bactérias

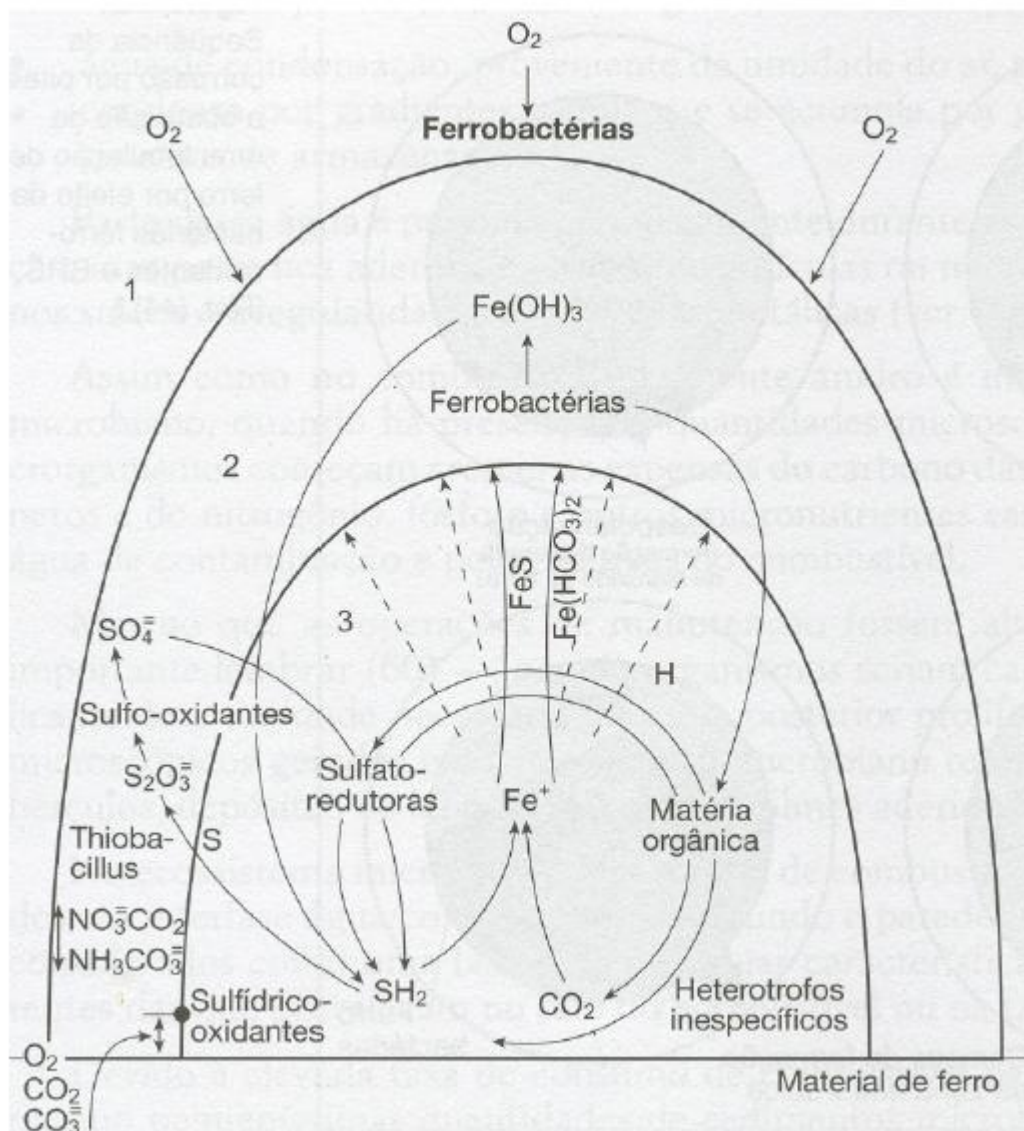
oxidantes do ferro se deve a um grupo heterogêneo de microrganismos (bactérias do gênero *Gallionella*, *Sphaerotillus*, *Crenothrix*, entre as mais freqüentes) que tem em comum a capacidade de oxidar íon ferroso (Fe^{2+}) a férrico (Fe^{3+}) que serve como fonte primária de energia para essas bactérias. O produto dessa oxidação é geralmente hidróxido férrico insolúvel ($\text{Fe}(\text{OH})_3$). As bactérias criam um limo de cor vermelho, amarelo ou bronzeado, formando agregados coloridos chamados ocre. A espécie *Sphaerotillus* gera formações de envoltura e depósitos de ferro ao redor do tubo, formando um tapete espesso, enlodado, deixando o tudo incrustado com depósitos de ferro. Estas formações podem se tornar severas nas paredes do tubo, ocasionando mudanças de pressão, temperatura, fluxos, etc., e contribuindo para entupimento dos emissores. Outra ferrobactéria, a *Gallionella*, forma talos ou tiras de ferro que são depositados ao redor do organismo através de secreções. Este depósito pode apanhar partículas rapidamente suspensas, e assim aumentar a fonte de alimento que resulta em um crescimento exponencial da colônia.

A obstrução de emissores, causada por bactérias que oxidam o ferro apresentam um difícil controle. Até mesmo concentrações férreas muito pequenas, menores que 1,5 mg/L, são suficientes para promover crescimento bacteriano, que geralmente apresenta coloração avermelhada. A precipitação do ferro e o rápido crescimento das bactérias criam um material volumoso que pode entupir um sistema de irrigação por gotejamento completamente em questão de algumas semanas (TEIXEIRA, 2006).

Segundo ainda Teixeira (2006), um dos exemplos mais frequentes de biocorrosão causada por ferrobactérias é encontrada em tubulações de ferro fundido utilizadas em distribuição de água potável e para irrigação, em que excrescências tuberculares, formadas na parede interna das tubulações, são constituídas principalmente por hidróxido férrico associados a outros compostos de ferro, cálcio e manganês.

A Figura 1 apresenta uma descrição esquemática dos processos químicos e microbiológicos de formação e crescimento das mucilagens.

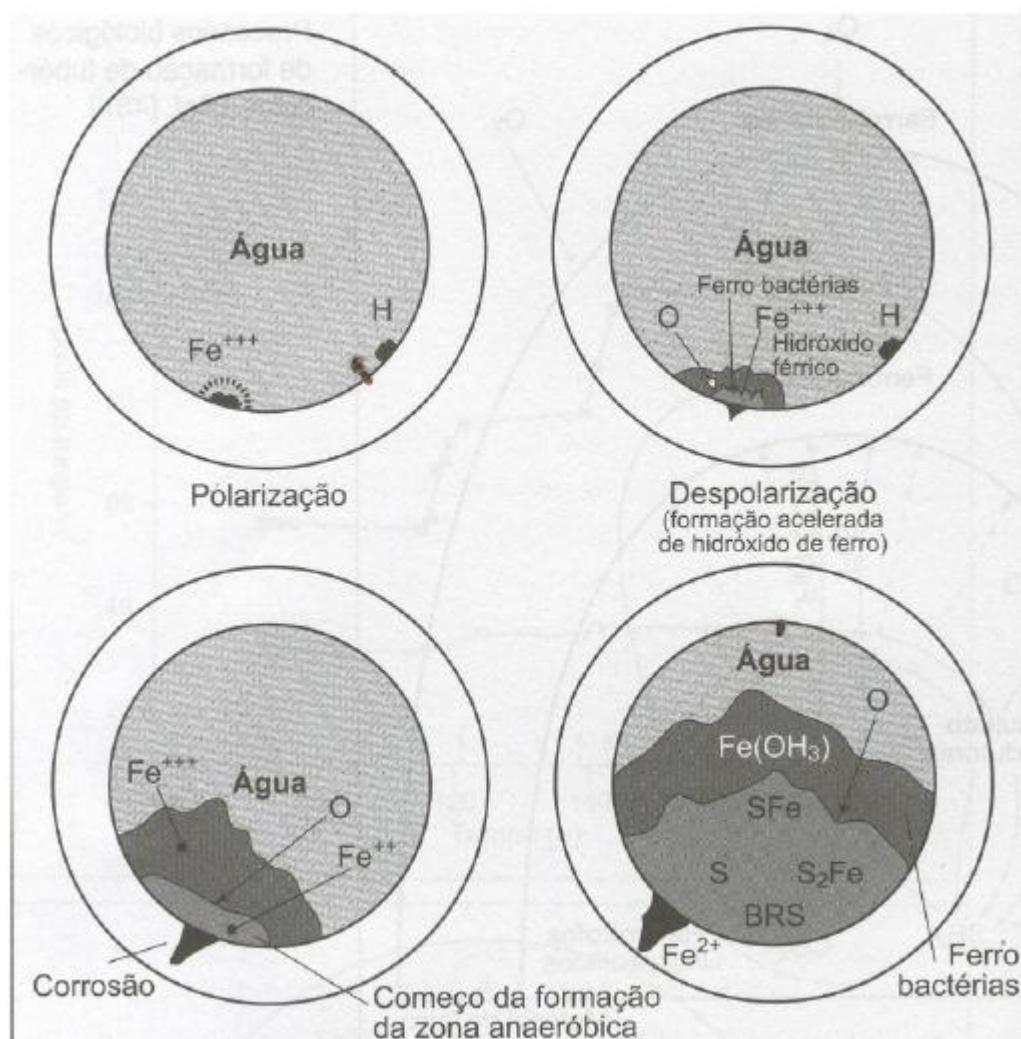
Figura 1 – Processos biológicos de formação de mucilagens.



Fonte: Videla (2003).

O início e o desenvolvimento do ataque corrosivo por aeração diferencial, que pode chegar a obstruir totalmente a tubulação ou perfurar a parede, foram descritos graficamente (Figura 2) por Chantereau (1980), citados por Videla (2003).

Figura 2 – Sequência da corrosão por pites e obstrução de uma tubulação de ferro por efeito de ferrobactérias e bactérias redutoras de enxofre (BRS).



Fonte: Videla (2003).

Segundo Silva e Almeida (1979), as ferrobactérias desenvolvem-se em pH que varia entre 4,5 e 8,5 conforme Ralph e Stenvenson (1995), a taxa de oxidação de íon ferroso (Fe^{2+}) por ferrobactérias, está diretamente relacionada ao valor do pH da água de irrigação, onde a maior taxa dessa oxidação ocorre em águas com pH 5,8. Estes organismos não produzem seu próprio alimento e não requerem luz do sol para se desenvolver. No entanto, sistemas com suprimento de água aberto são mais suscetíveis ao desenvolvimento de

mucilagem (KELLER; BLIESNER, 1990).

4.3.3 Obstrução de gotejadores devido a fatores químicos

De acordo com Pizarro (1996) e Leite (1995), os precipitados químicos podem ser produzidos quando as condições iniciais da água são modificadas como pH, temperatura, sólidos dissolvidos totais e, sobretudo, a evaporação da águas nos emissores após cada irrigação, o que aumenta a concentração de sais dissolvidos que se precipitam ao superar o limite de solubilidade.

O ferro precipitado pode ser arrastado pela água, saindo pelo emissor, ou pode ser retido por filamentos de bactérias, contribuindo para formar uma massa gelatinosa de cor avermelhada, que obstrui a passagem da água. As bactérias podem aderir ao plástico ou ao metal, o que impede seu arraste pela água. Outras bactérias não-filamentosas, como a *Enterobacter* e *Pseudomonas*, também podem precipitar o ferro e reter o precipitado na massa gelatinosa formada por elas, criando uma mucilagem que pode obstruir os emissores, atuando também como cimentante de pequenas partículas minerais (PIZARRO, 1996).

4.4 Ataque químico a membranas gotejadoras

Com o avanço da tecnologia os emissores possuem membrana de compensação constituída por silicone ou copolímero de etileno propileno e dieno (EPDM), sendo este último à gordura animal e óleos vegetais, ozônio e substâncias químicas oxidantes fortes (MANO E MENDES, 2004).

Segundo ainda Mano e Mendes (2004), substâncias químicas que atacam polímeros fazem isso a taxas e modos diferentes. Há dois tipos comuns de ataques químicos em polímeros:

- a) Ocorre uma expansão do polímero, sendo que o mesmo retorna à sua condição original se a substância química for removida. Porém, se o polímero é composto de um ingrediente que for solúvel na substância química, podem ser alteradas as propriedades do polímero por causa da remoção deste ingrediente e a própria substância química será contaminada, e;
- b) A resina básica ou moléculas de polímeros são mudadas união em cruz, oxidação,

reação de substituição ou cisão em cadeia. Nestas situações o polímero não pode ser restabelecido pela remoção da substância química. Exemplos deste tipo de ataque em PVC é vapor d'água a 200°C e gás cloro úmido.

Vários fatores podem afetar a taxa e o tipo de ataque químico que pode ocorrer. Estes fatores são:

- a) Concentração: em geral, a taxa de ataque aumenta com a concentração, mas em muitos casos há níveis limiar no qual nenhum efeito químico significativo é notado;
- b) Temperatura: como em todos os processos, a taxa de ataque aumenta com a elevação da temperatura. Novamente, temperaturas limiares podem ser utilizadas;
- c) Período de contato: em muitos casos, a taxa de ataque é lenta, tendo resultado somente com um contato contínuo e prolongado. “Em PVC é considerado relativamente insensível para acentuar corrosão.” (MANO E MENDES, 2004).

A Tabela 3 apresenta a resistência química de anéis de borracha (elastômeros) utilizados para vedação e outros diversos fins.

Tabela 3 – Resistência química de elastômeros.

Material e sigla	Geralmente resistente para	Geralmente não resistente para
Borracha natural NR	A maioria das substâncias químicas moderadas, úmidas ou secas, ácidos orgânicos, álcool, acetonas, aldeídos	Ozônio, ácidos fortes, gorduras, óleos, graxas, a maioria dos hidrocarbonetos
Borracha Butadieno estireno SBR	Igual para Borracha Natural	Igual para Borracha Natural
Policloropeno (Neopreno) CR	Substâncias químicas moderadas e ácidas, ozônio, gorduras, muitos óleos e solventes	Ácidos oxidantes fortes, ésters, acetonas, clorados, hidrocarboneto de nitro aromático
Copolímero de etileno, propileno e dieno EPDM	Animal e óleos vegetais, ozônio, Substâncias químicas oxidantes fortes	Óleos minerais e solventes, hidrocarboneto aromáticos
Borracha de Nitrila NBR	Muitos hidrocarbonetos, gorduras, óleos, fluidos gordurosos, fluidos hidráulicos, substâncias químicas	Ozônio, acetonas, ésters, aldeídos, clorados e hidrocarbonetos de nitro

Fonte: Mano e Mendes (2004).

Nota: O desempenho químico dos elastômeros é influenciado por vários fatores incluindo temperatura e desempenho de serviço, grau de polimerização e combinação utilizada.

Uma composição de borracha moldável é complexa. A massa é comumente designada composição vulcanizada e sempre contém, além de elastômero, alguns aditivos, em pequenas quantidades; pode ainda conter outros ingredientes em quantidades muito maiores, sob a forma de carga e plastificante. Quando a composição vulcanizável não contém carga é chamada de goma pura (“pure gum”). Os principais ingredientes são os seguintes: agentes de vulcanização, acelerador, ativador, antioxidante, carga reforçadora ou inerte, plastificante, etc.. Da correta formulação de uma composição moldável dependerá não apenas o bom processamento da mistura, como também as propriedades do produto obtido (MANO; MENDES, 2004).

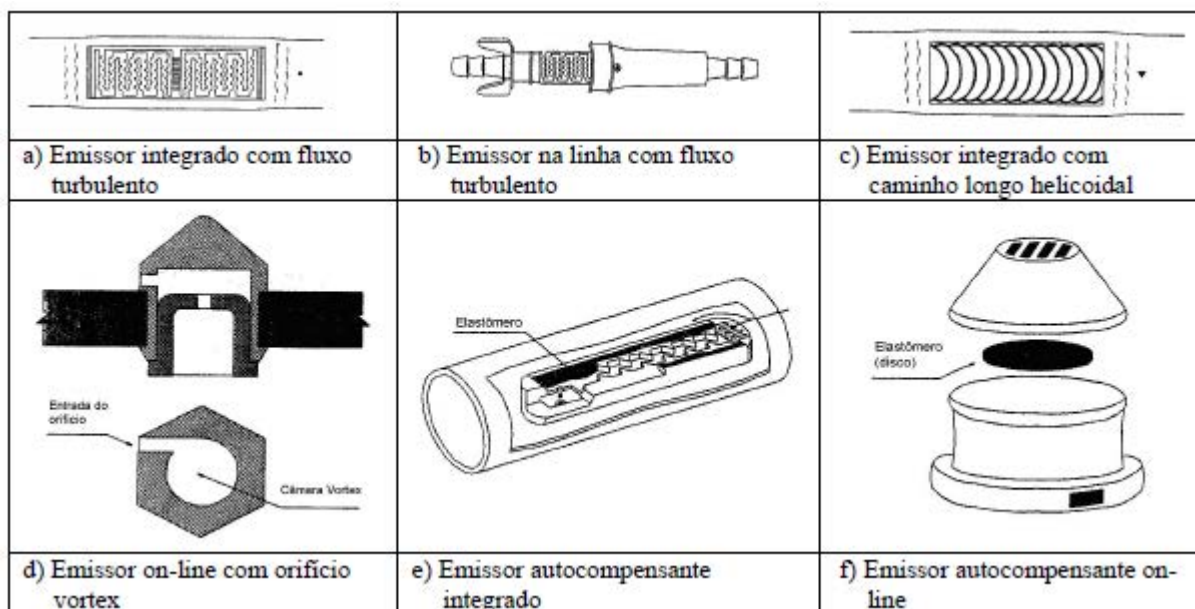
4.5 Característica hidráulica dos emissores autocompensantes

Uma das principais exigências do sistema de irrigação por gotejamento é o fornecimento preciso de aplicação de água. Para atingir um controle ótimo, todos os emissores tem que apresentar uniformidade de distribuição de água adequada, não sofrendo mudanças com o tempo ou fatores ambientais (TEIXEIRA, 2006).

Para Wu e Gitlin (1974) a uniformidade de aplicação de água na linha lateral está relacionada com a variação na vazão dos emissores que é função do comprimento da linha lateral e pressão de entrada, espaçamento dos gotejadores e da razão do fluxo total.

Na Figura 3 são mostrados diferentes tipos de emissores utilizados em sistema de irrigação por gotejamento.

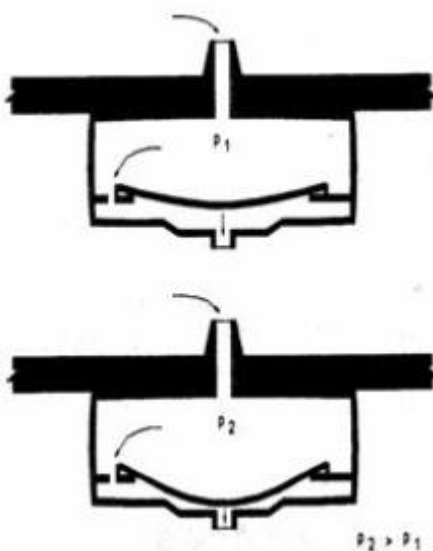
Figura 3 – Exemplos típicos de emissores utilizados em um sistema de irrigação por gotejamento.



Fonte: adaptado de Rodriguez-Sinobas; Juana e Losada (1999).

Emissores autocompensantes apresentam princípios de comportamento diferente dos demais tipos de emissores. Eles são construídos para fornecer vazão quase constante em uma faixa ampla de pressão de serviço. Para tanto, utilizam em elastômero (membrana elástica) inserido em uma câmara que permite o controle do fluxo pelo orifício do gotejador. Este elastômero trabalha como um diafragma que separa duas câmaras. Quando ocorre um diferencial de pressão, a seção de passagem da água diminui, conforme demonstra a Figura 4 (TEIXEIRA, 2006).

Figura 4 – Diferenças geométricas do elastômero sob a ação de diferentes pressões.



Fonte: adaptado de Rodriguez-Sinobas; Juana e Losada (1999).

Segundo ainda Teixeira (2006), podem ser distinguidas três etapas de funcionamento de emissores autocompensantes. Na primeira, a pressão de serviço está abaixo da pressão mínima de funcionamento, não ocasionando nenhum resultado de distorção do elastômero, resultando num aumento de vazão com pressão crescente, sem compensação. Na segunda, ocorrem variações de pressão dentro da faixa operacional, ocasionando distorção do elastômero e conseqüentemente controle do fluxo. Finalmente a terceira etapa, refere-se a pressões mais altas que gradualmente reduz a passagem do fluxo.

A vazão dos emissores autocompensantes diminui durante o tempo operacional. Variações de mais de 6% foram medidas, mas os resultados dependeram da frequência dos testes. O elastômero pode sofrer fadiga em função do tempo operacional quando pressurizado, e suas características estruturais podem mudar (RODRIGUEZ-SINOBAS; JUANA, LOSADA, 1999).

4.6 Parâmetros de avaliação da uniformidade de distribuição de água

A uniformidade de distribuição de água às plantas está diretamente

ligada ao problema de entupimento dos gotejadores. Segundo Capra e Scicolone (2004), a detecção de emissores entupidos e posterior limpeza ou reposição são processos difíceis e que exigem elevado investimento. A uniformidade é afetada pelo dimensionamento hidráulico, topografia, pressão de operação, comprimento da tubulação lateral, espaçamento entre emissores e variabilidade de descarga de emissores. Este último parâmetro é função da variação da temperatura da água, coeficiente de variação de fabricação, desgaste e entupimento dos emissores (ASAE, 1998).

4.6.1 Uniformidade de Distribuição (CUD)

O coeficiente utilizado para expressar a uniformidade de distribuição (UD) de água em um sistema de irrigação localizada, de acordo com Merriam e Keller (1978) é um método de obtenção dada pela relação entre a vazão média dos 25% menores valores e a média de todas as vazões dos gotejadores ensaiados, conforme mostra a equação 1:

$$UD = 100 \times \frac{q_{25\%}}{q_m} \quad (1)$$

Em que:

UD – uniformidade de distribuição, em %;

$q_{25\%}$ - vazão média dos 25% menores valores de vazão observada, em $L h^{-1}$;

q_m – média de todas as vazões, em $L h^{-1}$.

Podem-se adotar como parâmetros para UD os seguintes valores:

$UD \geq 90\%$	uniformidade excelente;
$80\% \leq UD < 90\%$	uniformidade boa;
$70\% \leq UD < 80\%$	uniformidade regular; e
$UD < 70\%$	uniformidade ruim.

A interpretação dos valores de uniformidade de distribuição pode ser realizada admitindo-se os valores de UD, relacionados com o tipo de aplicação, espaçamento entre emissores e declividade da área, conforme a Tabela 4.

Tabela 4 – Classificação dos valores de UD

Tipo de aplicação	Esp. (m)	Topografia da área	Declividade	UD (%)
Emissão pontual em culturas perenes	> 4	Uniforme	< 2	90 a 95
		Declivosa ou ondulada	> 2	85 a 90
Emissão pontual em culturas semi-permanentes ou perenes	< 4	Uniforme	< 2	85 a 90
		Declivosa ou ondulada	> 2	80 a 90
Emissão linear em culturas anuais ou perenes	Qualquer	Uniforme	< 2	80 a 90
		Declivosa ou ondulada	> 2	70 a 85

Fonte: ASAE EP 405.1 (1999).

4.6.2 Coeficiente de variação de fabricação

Conforme a ABNT (1987), o coeficiente de variação de fabricação é obtido através da relação entre o desvio-padrão e a média das vazões dos emissores amostrados, conforme equação 2.

$$CV_f = 100 \times \frac{S}{\bar{X}} \quad (2)$$

Em que:

CV_f – coeficiente de variação de fabricação, em %;

S – desvio-padrão das amostras;

X – média das vazões dos emissores, em L h⁻¹.

Para Solomom(1979), valores comuns de Coeficientes de Variação de Fabricação do gotejador podem variar de 2 a 10%, apesar de valores acima desse intervalo também serem observados em alguns casos. O significado físico do CV_f pode ser explicado por assumir a distribuição de vazão segundo uma “distribuição estatística normal”, para um dado dispositivo, trabalhando em sua pressão de serviço.

Segundo Hillel (1982), o CV_f pode classificar os emissores, de acordo com os seguintes valores:

a) Para Gotejadores, Microaspersores e Difusores:

CV_f até 5%.....	Bons
CV_f entre 5 e 10%.....	Médios
CV_f entre 10 e 15%.....	Deficientes
CV_f acima de 15%.....	Inaceitáveis

b) Para Tubogotejadores:

CV_f até 10%.....	Bons
CV_f entre 10 e 20%.....	Médios
CV_f acima de 20%.....	Deficientes e Inaceitáveis

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Descrição da estrutura experimental e funcionamento do sistema

A presente pesquisa foi conduzida na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Faculdade de Ciências Agrônômicas, localizada no município de Botucatu – SP pelas coordenadas geográficas 22° 49’ S e 48°25’W, altitude de 770 m.

Antes da instalação do experimento, realizou-se amostras de solo para análise química conforme metodologia descrita por Raij et al. (2001) a 0,20 m de profundidade, com um trado holandês, onde coletaram-se amostras simples formando uma amostra composta e análise física (granulométrica e textural), que foram realizadas no Departamento de Recursos Naturais, no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas “Prof.^a Dr.^a Leônia Aparecida de Lima”, UNESP-FCA, cujos resultados são apresentados nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5 - Resultado da análise química do solo da área utilizada no experimento.

pH	M.O.	P _{resina}	Al ³⁺	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S
CaCl ₂	g/dm ³	mg/dm ³		-----mmol./dm ³ -----							mg/dm ³
5,3	22	16	0	24	1,6	20	8	30	54	56	1
BORO		COBRE		FERRO		MANGANÊS		ZINCO			
-----mg/dm ³ -----											
0,24		4,6		31		18,2		3,1			

Tabela 6 - Resultado da análise física do solo da área utilizada no experimento.

Areia			Argila	Silte	Umid.	Textura	Balão Vol.	Torrão Imp.
Grossa	Fina	Total					Densidade (g/cm ³)	
(g/Kg)					(%)	do Solo	Partículas	Solo
392	305	698	227	75	---	Média	---	---

O experimento foi desenvolvido em campo, possuindo 6 canteiros de 1,20 x 35 metros (3 linhas gotejadoras) (Figuras 5 e 6), um reservatório de água com capacidade para 5000 litros e um conjunto moto-bomba Raxon-Ferrari Modelo BA-40 1/2CV 60 HZ 110/220 para pressurizar a água pelas tubulações de PVC de 1” de polegada, com um filtro de discos de 120 mesh. As linhas laterais têm comprimento de 35 metros (totalizando 18 linhas), 1 válvula de saída de ar e 1 manômetro do tipo Bourdon testado e aferido antes do experimento. A Figura 7 mostra o esquema do experimento. A cultura usada inicialmente foi rabanete, mas devido a problemas com “Pérola-da-terra (*Eurhizococcus brasiliensis*), que é uma cochonilha subterrânea que ataca raízes de plantas cultivadas e silvetres; a cultura foi substituída por alface.



Figura 5 – Vista geral dos canteiros.



Figura 6 – Vista do canteiro e das linhas gotejadoras.

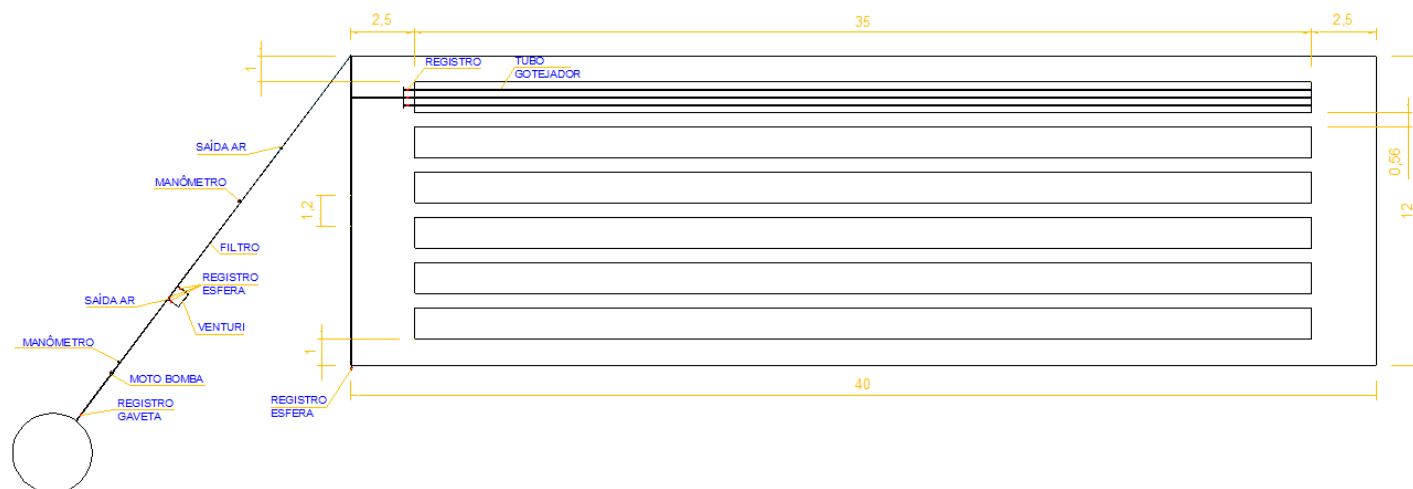


Figura 7 – Esquema do experimento.

Foi utilizado para o experimento, um modelo de tubo gotejador da marca NaanDanJain que apresentam as seguintes características, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Características técnicas do modelo de gotejador.

Fabricante	Modelo	Fluxo	Vazão	Ø	Pressão	Distância entre gotejadores	Espessura parede	Diâmetro interno
			L h ⁻¹	mm	KPa	m	mm	mm
NAANDANJAIN								
	Naan PC (azul)	AC	2,1	16	100–350	0,80	0,90	13,9

As principais características do modelo de gotejador da NaanDanJain (Figura 8) são:

- Membrana reguladora de alta flexibilidade;
- Passagens de água que asseguram elevada tolerância à obstrução;
- Cada gotejador possui dois filtros individuais de proteção, com mecanismo de auto-limpeza;

- Uniformidade categoria A conforme norma ISO 9261: 1991;
- Filtragem recomendada: mínimo 120 mesh (refere-se ao número de abertura em cada eixo por polegada quadrada), mediante especificação em função da qualidade da água.



Figura 8 – Modelo de gotejador da NAANDAN.

Para a condução do ensaio, foram retirados de uma bobina, ao acaso, 18 segmentos de 35 m com 44 emissores em média do tubo gotejador para cada linha de gotejadores, o que resultou na avaliação de um total de 396 gotejadores para cada tratamento. A pressão de serviço foi mantida em 150 ± 15 KPa.

O ensaio foi conduzido durante 1 ano, totalizando 720 horas de funcionamento do sistema, sendo 360 horas para cada tratamento. Para o modelo de tubo gotejador, foram efetuadas duas aplicações; de dosagens de teor natural de ferro na água do lago (aproximadamente $0,0 \text{ mg L}^{-1}$) e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro, contabilizando 2 tratamentos.

A operacionalização do funcionamento do sistema, quanto ao horário de início e de parada, foi efetuada manualmente, o qual foi acionado o conjunto moto bomba elétrico, visando um funcionamento em 2 ciclos diários, com duração de uma hora cada, totalizando 2 horas por dia. O horário de irrigação estabelecido foi a parte da manhã ou o final da tarde para todos os dias da semana.

As medições individuais da vazão dos gotejadores foram efetuadas mensalmente, totalizando treze medições no período de ensaio para cada tratamento. Ao efetuar a medição das vazões com o uso dos beakers, cada gotejador era cuidadosamente observado, no sentido de não permitir a interferência de vazões provenientes de gotejadores

adjacentes e/ou pontos de conexão, e então, os volumes eram coletados por um período de tempo de 10 minutos.

5.2 Análise da água e seu preparo para a irrigação

Utilizou-se como fonte de água para o experimento, água lago do Departamento de Engenharia Rural localizada no Campus da UNESP – FCA.

A análise da água utilizada no experimento antes da adição de Fe, foi feita pelo Departamento de Recursos Naturais, no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas “Prof.^a Dr.^a Leônia Aparecida de Lima”, UNESP-FCA. Os resultados são apresentados na Tabela 8:

Tabela 8 – Análise de água

N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
----- mg/L -----										
6	2	8	4	3	6		0,01	0,44	0,00	0,00

Verificou-se que a água possuía um teor natural de ferro de 0,44 mg L⁻¹. Como o experimento foi conduzido com teores fixos em aproximadamente 0,0 mg L⁻¹ e 5,0 mg L⁻¹, somente foi acrescentado o complemento.

Os teores de 0,44 mg L⁻¹ e 5,0 mg L⁻¹ foram escolhidos basicamente, levando-se em consideração a Tabela 2, que considera como ligeiro a moderado e severo respectivamente, o risco de entupimento as águas com os respectivos valores de ferro total.

Adicionou-se o complemento pelos seguintes cálculos químicos:

Produto utilizado:

FeSO₄.7H₂O (Sulfato Ferroso Heptahidratado)

Dados químicos: Massa Molecular: 277,92 g mol⁻¹

Teor de pureza: 99% (produto de uso laboratorial)

Exemplo de cálculo do ferro a ser adicionado:

O teor de ferro total no primeiro dia foi de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$, então, tem-se:

$$\text{Fe original} = 0,44 \text{ mg L}^{-1}$$

$$\text{Fe desejado} = 5,0 \text{ mg L}^{-1}$$

$$\text{Fe complementar} = 4,56 \text{ mg L}^{-1} = 4,56 \times 10^{-3} \text{ g L}^{-1}$$

$$\text{Fe peso atômico} = 55,85$$

$$A = \frac{(4,56 \times 10^{-3} \text{ g L}^{-1}) \times (277,92 \text{ g mol}^{-1})}{(55,85 \text{ g mol}^{-1})} = 0,02269140913 \text{ g L}^{-1} \text{ de FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$$

Considerando-se o reservatório de 2500 L, tem-se:

$$B = \frac{(0,02269140913 \text{ g}) \times (2500 \text{ L})}{(1,0 \text{ L})} \approx 56,73 \text{ g}$$

Ao invés de se adicionar o sal na forma sólida dentro do reservatório de 2500 L, preparou-se uma solução prévia de 1,0 L para facilitar a homogeneização, levando em conta também o teor de pureza do produto comercial.

Tem-se, então, que:

$$C = \frac{56,73 \times 100}{99} \approx 57,30 \text{ g L}^{-1}$$

Preparo da solução:

- Pesaram-se 57,30 g de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ comercial;
- Diluíram-se em 1,0 L de água destilada;

- Adicionaram-se no reservatório de 2500 L;
- Promoveu-se a homogeneização;
- No final, a água, que, originalmente possuía 0,44 mg L⁻¹ de Fe total, passou a ter 5,0 mg L⁻¹.

Observação: as análises de ferro foram realizadas diariamente. Nos casos em que o teor de ferro na água se alterou, os cálculos também foram ajustados, de forma a garantir a concentração fixa de 5,0 mg L⁻¹ de ferro total na solução.

5.3. Parâmetros avaliados

Para efeito de avaliação da performance dos emissores foram analisados os seguintes parâmetros:

- a. Vazão média dos emissores, no período do ensaio, expressa como um percentual do valor nominal (vazão relativa);
- b. Coeficiente de variação de vazão do modelo de emissor;
- c. Uniformidade de distribuição de água utilizando-se o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD);
- d. Avaliação da variação de volume das membranas de compensação de pressão pela ação do ferro.

5.4. Delineamento estatístico

O experimento foi montado em esquema fatorial 2x13, sendo duas doses de Fe e 13 tempos de funcionamento com três repetições, totalizando 78 parcelas experimentais.

Inicialmente foi verificada a normalidade dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ($P < 0,05$) e a homogeneidade de variância pelo teste de Levene. Efetuou-se a análise de variância pelo teste F. As médias das doses de Fe foram comparadas pelo teste de T de Student a 5% de probabilidade. As interações das doses de Fe com tempo foram estudadas

utilizando o método estatístico “Intervalo de Confiança para Diferenças entre as Médias” com grau de confiança de 95% (IC_{95%}) para a análise comparativa dos tratamentos.

As Tabelas 9, 10 e 11 apresentam as análises de variância para testar a significância dos tratamentos.

Tabela 9 – Análise de variância

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	FcPr>Fc
DOSES	1	220.012821	220.012821	42.564 0.0000
TEMPO	12	702.073013	58.506084	11.319 0.0000
DOSES*TEMPO	12	97.578746	8.131562	1.573 0.1290
erro	52	268.785400	5.168950	
Total corrigido	77	1288.449979		
CV(%) =	2.32			
Média geral:	97.9494872	Número de observações:	78	

Tabela 10 – Análise de variância com CVQ(%) sendo a variável analisada

Variável analisada: CVQ%

Opção de transformação: Variável sem transformação (Y)

ANÁLISE DE VARIÂNCIA

FV	GL	SQ	QM	FcPr>Fc
DOSES	1	1.784826	1.784826	2.559 0.1157
TEMPO	12	36.010930	3.000911	4.303 0.0001
DOSES*TEMPO	12	9.307877	0.775656	1.112 0.3707
erro	52	36.266241	0.697428	
Total corrigido	77	83.369873		
CV(%) =	82.26			
Média geral:	1.0152692	Número de observações:	78	

Tabela 11 – Análise de variância com $Q_{\text{média}}$ ($L h^{-1}$) sendo a variável analisadaANÁLISE DE VARIÂNCIA $Q_{\text{Média}}$ ($L h^{-1}$)

FV	GL	SQ	QM	FcPr>Fc	
Doses	1	0,045313	0,045313	6,148	0,0164
Tempo	12	0,152772	0,012731	1,727	0,0875
Doses*Tempo	12	0,039721	0,003310	0,449	0,9346
Resíduo	52	0,383267	0,007371		
Total corrigido	77	0,621072			

CV (%) = 4,03

Média geral: 2,13

5.5. Determinação da vazão, do coeficiente de variação de fabricação e do coeficiente de uniformidade de distribuição

Após a montagem do experimento, todo o sistema hidráulico foi posto em operação, por um período de 48 horas antes do início das avaliações, com a finalidade de promover a estabilização do funcionamento dos gotejadores. Após o período de estabilização do sistema, realizou-se uma leitura de vazão de todos os gotejadores à temperatura ambiente de 22°C e temperatura da água 25°C e pressão de 150 KPa no início da linha, com a finalidade de se obter uma caracterização inicial dos gotejadores (vazão de referência) para ser utilizada como base nos cálculos dos parâmetros analisados. Ao se efetuar a medição de vazão, cada gotejador era cuidadosamente observado, no sentido de não haver interferência de vazões provenientes de gotejadores adjacentes e/ou de pontos de conexão.

A referida vazão foi determinada através do método gravimétrico, com o objetivo de se obter maior exatidão do volume coletado de cada emissor, e seus valores expressos em $L h^{-1}$. O volume da água, emitido para cada emissor em beakers, durante 10 minutos, foi pesado, utilizando-se uma balança de precisão Gehaka BK 4000 (0,01 g) certificada.

Depois de tabulados os pesos, procederam-se os cálculos da vazão, do coeficiente de variação de fabricação e do coeficiente de uniformidade de distribuição através das equações 4 a 10.

$$v = \frac{M}{D_{\text{água}}}$$
(4)

Em que:

v – volume de água, em ml;

M – massa da água coletada, em g;

D – massa específica da água utilizada no ensaio, em g ml⁻¹.

$$q = \frac{(6 \times v)}{1000}$$
(5)

Em que:

q – vazão do gotejador, em L h⁻¹;

v – volume de água, em ml.

$$\bar{q} = \frac{q_{\text{linha}}}{N}$$
(6)

Em que:

q – vazão média do gotejador, em L h⁻¹;

q_{linha} – vazão da linha gotejadora, em L h⁻¹ e

N – número de emissores da linha.

$$CV_f = 100 \times \frac{S_{novo}}{\bar{q}_{novo}} \quad (7)$$

Em que:

CV_f – coeficiente de variação de fabricação, em %;

S_{novo} – desvio-padrão da vazão dos gotejadores novos (primeira leitura), e

q_{novo} – vazão média do gotejador novo, em $L h^{-1}$.

$$CV_q = 100 \times \frac{S_{usado}}{\bar{q}_{usado}} \quad (8)$$

Em que:

CV_q – coeficiente de variação de vazão, em %;

S_{usado} – desvio-padrão da vazão dos gotejadores usados, e

q_{usado} – vazão média do gotejador usado, em $L h^{-1}$.

$$CUD = 100 \times \frac{q_{25\%}}{\bar{q}_{usado}} \quad (9)$$

Em que:

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição, em %;

$q_{25\%}$ – vazão média de $\frac{1}{4}$ dos menores valores, em $L h^{-1}$

q_{usado} – vazão média do gotejador usado, em $L h^{-1}$.

$$Q_r = \frac{q_a}{q_i} \quad (10)$$

Em que:

Q_r – vazão relativa, em $L h^{-1}$;

q_a – vazão atual, em $L h^{-1}$; e

q_i – vazão inicial, em $L h^{-1}$.

5.6 Determinação da variação do volume das membranas de compensação de pressão dos gotejadores pela ação do ferro

Com o intuito de avaliar a ação direta do ferro na membrana de compensação, após o término do experimento a campo, retirou-se as membranas dos gotejadores e identificou-as em função dos canteiro e do tratamento, devido a membrana ser muito pequena, podendo mascarar a leitura no equipamento (picnômetro de Hubbard) utilizado para a medida do volume das membranas. A Figura 9 exemplifica o picnômetro de Hubbard utilizado.

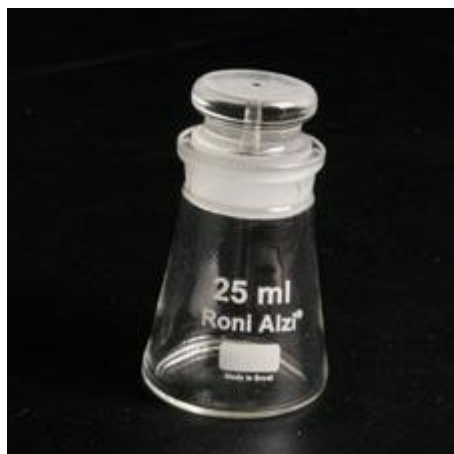


Figura 9 – Picnômetro de Hubbard

O procedimento utilizado para a verificação de possíveis danos à membrana de compensação de gotejadores foi o seguinte:

- Procedeu-se a pesagem de 6 exemplares de membranas dos tratamentos $0,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ Fe}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1} \text{ Fe}$, respectivamente e calibrados para o volume padrão do picnômetro (25 mL). A medição do volume seguiu o seguinte procedimento:
 - ✓ Pesagem do picnômetro + tampa vazio (Padrão 1);
 - ✓ Pesagem do picnômetro + tampa + água destilada (Padrão 2);
 - ✓ Pesagem dos exemplares das membranas (Padrão 3);

- ✓ Pesagem do picnômetro + tampa + água destilada + exemplares de membranas ao lado (padrão 4);
 - ✓ Pesagem do picnômetro + tampa + água destilada + exemplares de membranas introduzidas (padrão 5);
 - ✓ Medição da temperatura da água destilada utilizada no ensaio;
 - ✓ Volume da membrana (VM): Padrão 3/ (Padrão 5 – Padrão 4).
- Durante o ensaio, foi retirado as bolhas de ar do picnômetro com uma bomba de vácuo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD)

Estão apresentados nas Figuras 10 e 11, a significância dos valores médios do CUD em função do teste T a 5% de probabilidade e os valores médios do CUD para as doses de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, respectivamente.

Figura 10 - Significância dos valores médios do CUD em função do teste T a 5% de probabilidade

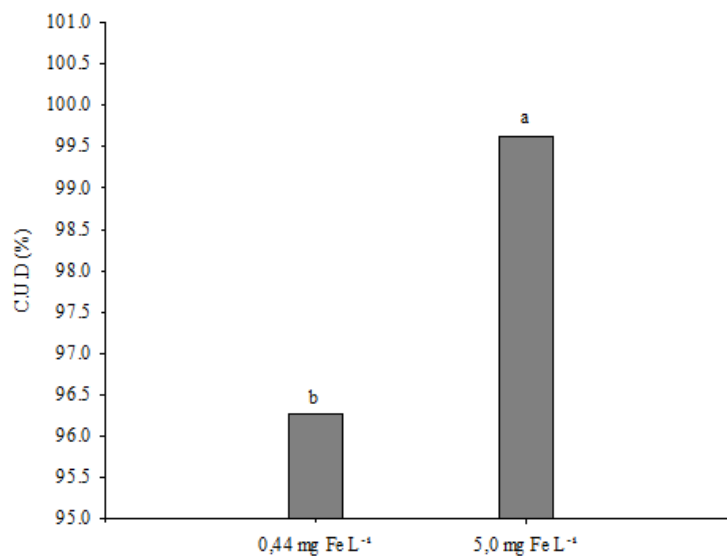
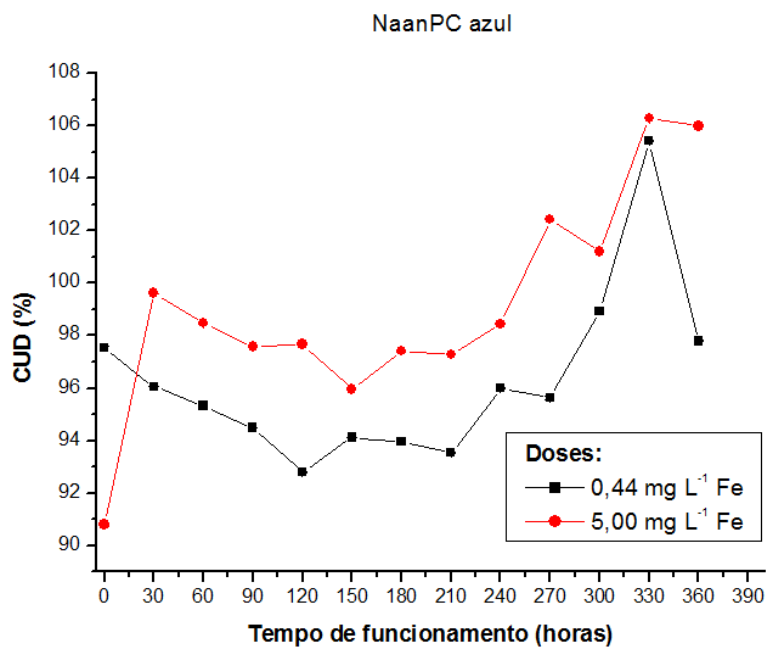


Figura 11 - Valores médios do CUD para as doses de 0,44 mg L⁻¹ e 5,0 mg L⁻¹ em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação



Verificou-se na Figura 10 que médias iguais não apresentaram diferença significativa pelo teste t de Student ($P < 0,05$).

Verificou-se ainda na Figura 11 que o tubogotejador NaanPC azul foi afetado em suas uniformidades de distribuição, numa intensidade diferenciada e apresentou também uniformidade de distribuição de água superior a 90% podendo ser classificada como excelente. Os valores do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) iguais ou superiores a 100% mostram o início do entupimento dos gotejadores. Os valores médios do CUD para as diferentes dosagens de ferro ($0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente) apresentaram reduções de 11,97% e 14,56%, respectivamente, o que também permite mantê-los na classificação de excelente, mesmo após 360 horas de funcionamento do sistema de irrigação.

A ocorrência do entupimento em gotejadores pode se dar em três situações segundo Teixeira (2006): no orifício de entrada, no caminho percorrido pela água no emissor e no orifício de saída. No caso de gotejadores autocompensantes, a ocorrência de entupimento pode ser devida também a danos químicos à estrutura da membrana de compensação, que reduz a passagem da água no orifício de saída, devido ao aumento de volume da mesma e consequentemente redução da densidade relativa.

6.2 Coeficiente de variação de vazão (CVq)

Para avaliação dos efeitos no coeficiente de variação de vazão no tubogotejador NaanPC azul, após seu uso com água ferruginosa nas doses de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro, calculou-se a vazão média e o desvio-padrão, e, em seguida, determinou-se o coeficiente de variação de vazão (CVq), dividindo-se o desvio-padrão pela média da vazão. Os resultados são apresentados a seguir:

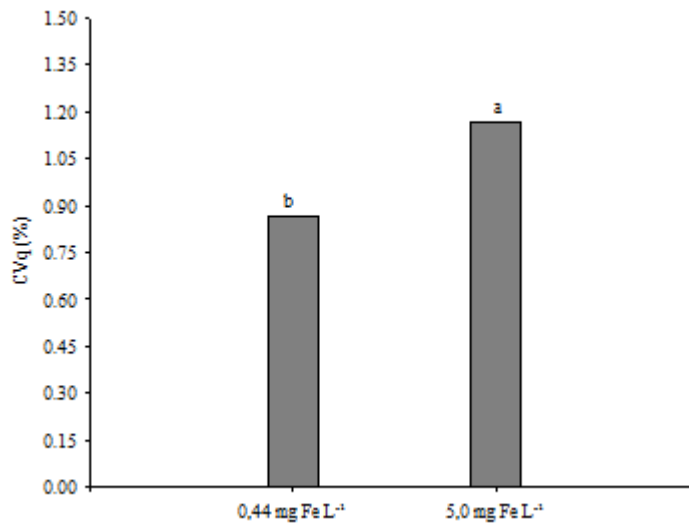


Figura 12 - Significância dos valores médios do CVq em função do teste T a 5% de probabilidade

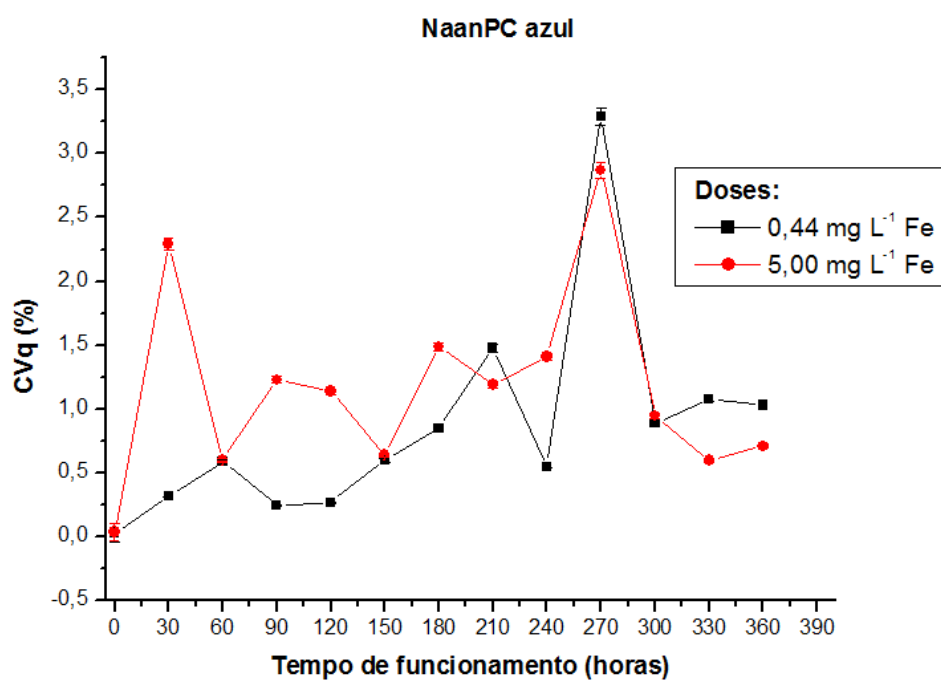


Figura 13 - Valores médios do CVq para as doses de 0,44 mg L⁻¹ e 5,0 mg L⁻¹ de ferro em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação

Dada à pequena magnitude de fatores causadores de desuniformidade (perdas de carga, declividade e diferencial de temperatura da água), uma vez determinado o valor de CV no início do ensaio, as diferenças encontradas, nas demais épocas de amostragem estarão relacionadas ao processo de entupimento dos emissores (RESENDE, 1999).

Observa-se na Figura 12 que médias iguais não apresentaram diferença significativa pelo teste t de Student ($P < 0,05$).

Observa-se ainda na Figura 13, que o tubogotejador NaanPC azul para as diferentes dosagens de ferro ($0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$) passaram de um CV de 0,032% no início do experimento, para 3,29% após 270 h de uso, o que corresponde a um acréscimo de 10281,25% no valor do CV e de 0,042% no início do experimento, para 2,87% após 270 h de uso, o que corresponde a um acréscimo de 9833,33% no valor do CV. Também se observa que na dosagem $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro variou menos ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação.

6.3 Vazão média ($Q_{\text{média}}$)

Nas Figuras 14 e 15, estão apresentados a significância dos valores médios de $Q_{\text{média}}$ em função do teste T a 5% de probabilidade e os valores médios de $Q_{\text{média}}$ para as doses de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação, respectivamente.

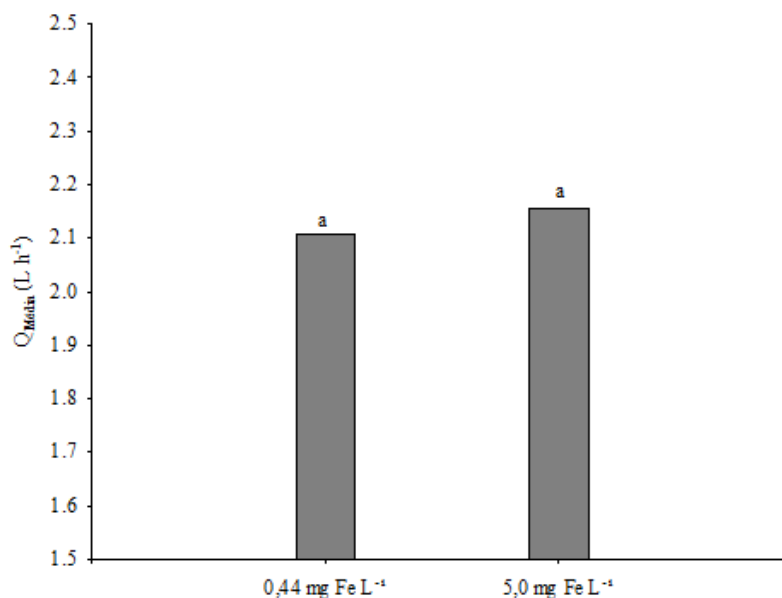


Figura 14 - Significância dos valores médios de $Q_{m\acute{e}dia}$ em função do teste T a 5% de probabilidade

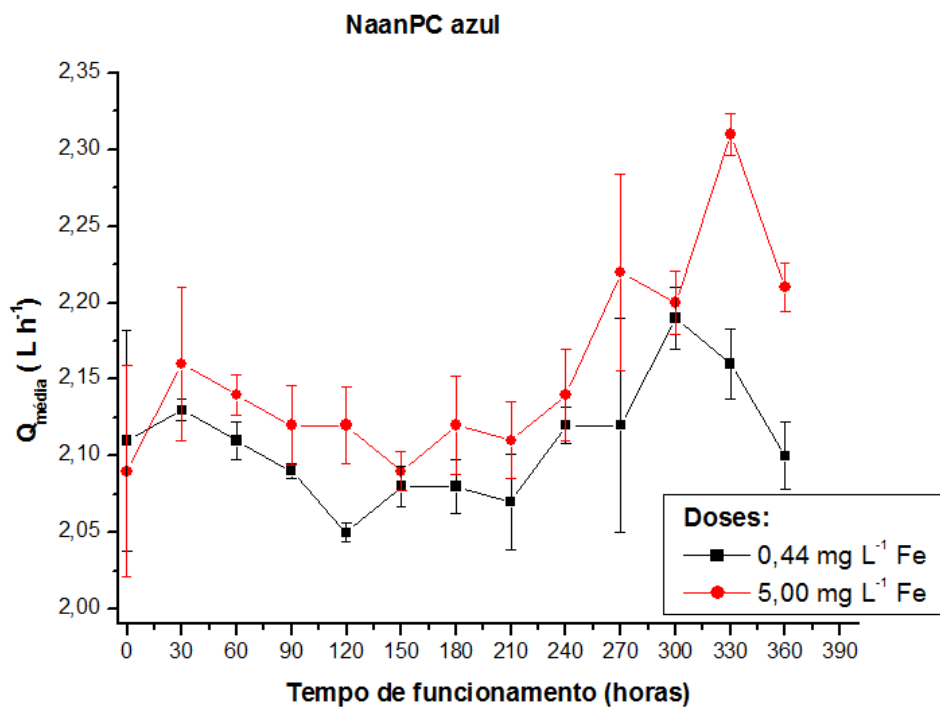


Figura 15 - Valores médios de $Q_{m\acute{e}dia}$ para as doses de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro em função do tempo de funcionamento do sistema de irrigação

Observa-se na Figura 14 que médias iguais não apresentaram diferença significativa pelo teste t de Student ($P < 0,05$).

Na Figura 15 verificou-se um aumento de vazão por um determinado período, retratando, assim, uma fase inicial do entupimento com aumento de vazão, concordando com Teixeira (2006) e Coelho (2007). Problemas de desuniformidade de vazão também estão relacionados ao aumento da vazão nominal (vazão relativa) do gotejador, devido à deposição de materiais na membrana flexível dos gotejadores autocompensantes, assim como pela deterioração da mesma (GILBERT et al, 1981). Verificou-se ainda que o modelo NaanPC azul apresentou uma tendência de aumentar suas vazões quando entupido nas doses de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro, tendo um incremento em torno de 6,83% e 10,53%, a partir de 300 h e 330 h trabalhadas, respectivamente.

6.4 Densidade relativa da membrana (Dr)

A densidade relativa é uma propriedade física intensiva (não depende da quantidade de substância). É também uma grandeza adimensional que relaciona a densidade de duas substâncias.

A Figura 16 mostra a significância dos valores médios de Dr em função do teste T a 5% de probabilidade.

A Figura 17 mostra os valores médios de Dr para as doses de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro no tempo de funcionamento de 360 h.

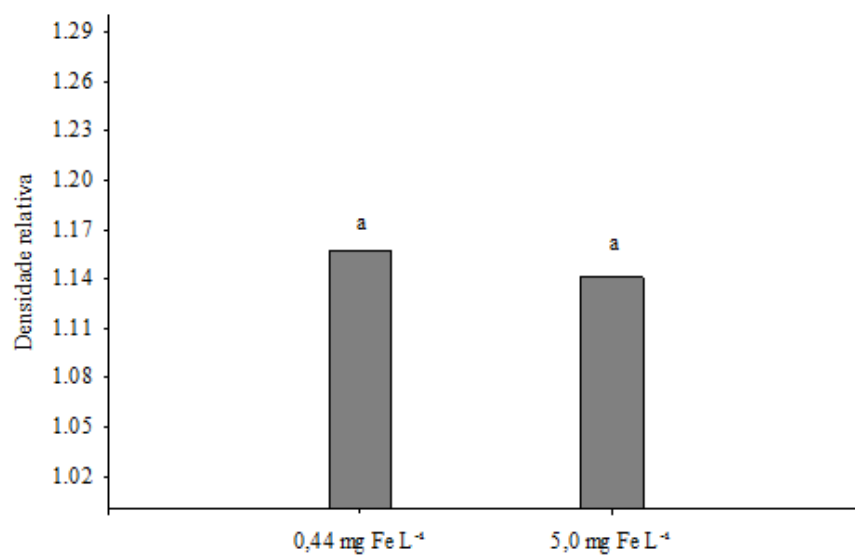


Figura 16 - Significância dos valores médios de Dr em função do teste T a 5% de probabilidade

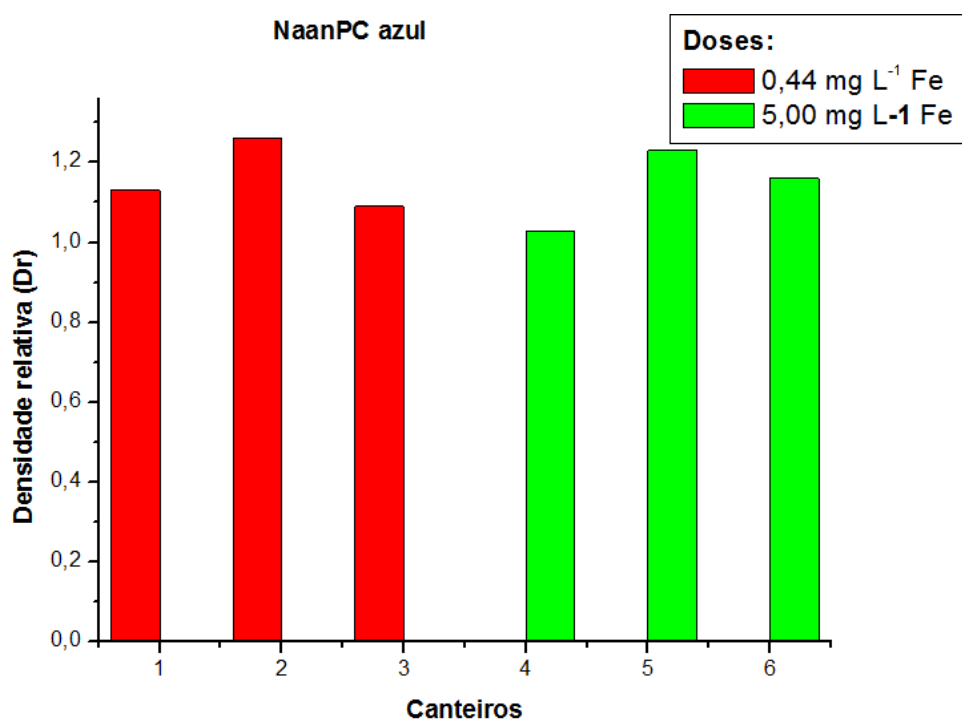


Figura 17 - Valores médios de Dr para as doses de 0,44 mg L⁻¹ e 5,0 mg L⁻¹ de ferro no tempo de funcionamento de 360 h

Verificou-se na Figura 16 que pelo teste t de Student ($P < 0,05$) não se conseguiu diferenciar as médias entre as dosagens de Ferro das membranas de compensação em função do teste ser muito rigoroso.

Na Figura 17 percebeu-se que a alteração nos valores das densidades relativas das membranas de compensação permaneceram praticamente constantes. Por isso, vale ressaltar que ocorreram nos últimos anos, avanços importantes quanto ao desenvolvimento de diferentes materiais poliméricos utilizados por diferentes segmentos industriais, inclusive para área de irrigação, permitindo, por exemplo, que os novos emissores tenham suas membranas de compensação constituídas por silicone ou EPDM, ou com constituintes em sua formação que contribuem para aumentar a resistência da ação de substâncias químicas (MANO; MENDES, 2004)

6.5 Ajuste de equações de vazão em função do tempo de operação

Foram propostos 2 modelos estatísticos polinomiais de estimativa da vazão média dos tubos em função do tempo de funcionamento acumulado em horas.

A Figura 18 mostra as correlações entre vazão média e tempo de operação em horas acumuladas para os 2 tratamentos e modelos polinomiais ajustados.

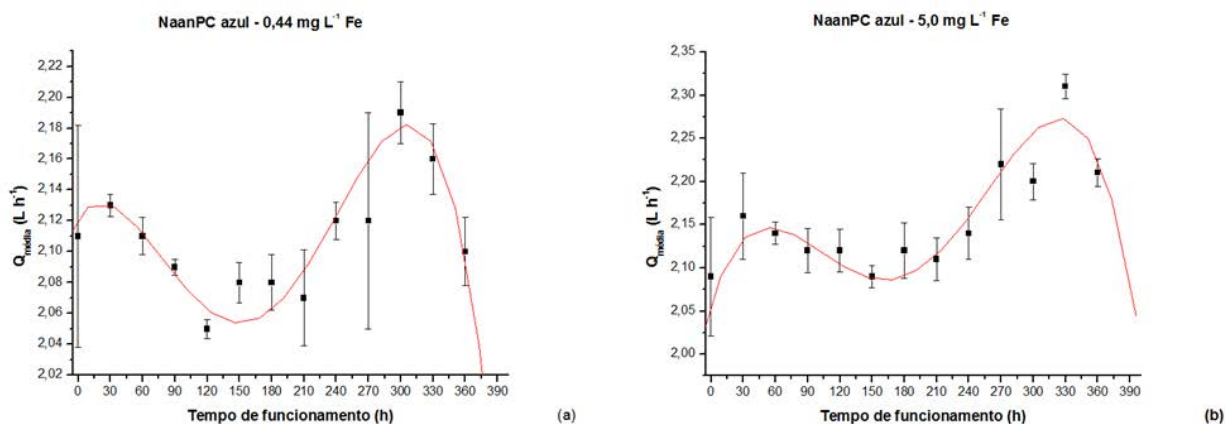


Figura 18 – Correlações entre vazão média e tempo de operação em horas acumuladas para os 4 tratamentos: (a) dose 0,44 mg L⁻¹ Fe; (b) dose 5,0 mg L⁻¹ Fe.

Os modelos foram ajustados de forma a permitir que se estime a vazão média do tubogotejador testado em cada uma das dosagens propostas, utilizando o tempo de operação de 0 a 360 horas como entrada. Esta modelagem visa facilitar a obtenção de valores médios de difícil acesso como no caso das vazões testadas nos tratamentos propostos em função de um parâmetro de entrada simples, que é o tempo, apresentando elevados coeficientes de determinação que evidenciam um elevado ajuste das curvas aos dados.

As funções polinomiais de quarto grau (Figura 18^a e 18^b) que melhor se ajustaram à evolução da vazão média em função do tempo de operação em horas acumuladas foram expressas respectivamente por:

NaanPC azul (0,44 mg L⁻¹ Fe)

$$Q_{m\acute{e}dia} = 2,122 + 9,556 \times 10^{-4} t - 2,73 \times 10^{-5} t^2 + 1,559 \times 10^{-7} t^3 - 2,443 \times 10^{-10} t^4 \quad (11)$$

NaanPC azul (5,0 mg L⁻¹ Fe)

$$Q_{m\acute{e}dia} = 2,058 + 0,004 t - 5,371 \times 10^{-5} t^2 + 2,453 \times 10^{-7} t^3 - 3,399 \times 10^{-10} t^4 \quad (12)$$

Onde:

t – tempo, em horas; e

$Q_{\text{média}}$ – vazão média, em $L h^{-1}$.

Os elevados coeficientes de determinação, $R^2 = 0,90$; $R^2 = 0,89$, respectivamente, mostram que as vazões médias estão bem correlacionadas com os tempos de operação em horas acumuladas.

7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos durante o experimento conclui-se que:

- O tubogotejador NaanPC azul foi afetado em suas uniformidades de distribuição, numa intensidade diferenciada e apresentou também uniformidade de distribuição de água superior a 90% podendo ser classificada como excelente. Os valores do coeficiente de uniformidade de distribuição(CUD) iguais ou superiores a 100% mostram o início do entupimento dos gotejadores. Os valores médios do CUD para as diferentes dosagens de ferro ($0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente) apresentaram reduções de 11,97% e 14,56%, respectivamente, o que também permite mantê-los na classificação de excelente, mesmo após 360 horas de funcionamento do sistema de irrigação.;
- o tubogotejador NaanPC azul para as diferentes dosagens de ferro ($0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$) passaram de um CV de 0,032% no início do experimento, para 3,29% após 270 h de uso, o que corresponde a um acréscimo de 10281,25% no valor do CV e de 0,042% no início do experimento, para 2,87% após 270 h de uso, o que corresponde a um acréscimo de 9833,33% no valor do CV. Também se observa que na dosagem $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro variou menos ao longo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação;

- Verificou-se um aumento de vazão por um determinado período, retratando, assim, uma fase inicial do entupimento com aumento de vazão. Verificou-se ainda que o modelo NaanPC azul apresentou uma tendência de aumentar suas vazões quando entupido nas doses de $0,44 \text{ mg L}^{-1}$ e $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ de ferro, tendo um incremento em torno de 6,83% e 10,53%, a partir de 300 h e 330 h trabalhadas, respectivamente;
- Percebeu-se que a alteração nos valores das densidades relativas das membranas de compensação permaneceram praticamente constantes;
- Foram ajustados modelos de forma a permitir que se estime a vazão média do tubogotejador testado em cada uma das dosagens propostas, utilizando o tempo de operação de 0 a 360 horas como entrada. Esta modelagem visa facilitar a obtenção de valores médios de difícil acesso como no caso das vazões testadas nos tratamentos propostos em função de um parâmetro de entrada simples, que é o tempo, apresentando elevados coeficientes de determinação que evidenciam um elevado ajuste das curvas aos dados.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, ASAE. **EP 458**: field evaluation of microirrigation systems. St. Joseph, estados Unidos, 1998. 7p.

ANDRADE, C. L. T.; BRITTO, R. L. Sistemas de produção 2. **EMBRAPA**. 2007 Disponível em: <<http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/milho/iviabili.htm>>. Acesso em: 15 out. 2013.

ANDRADE & BRITO, **Métodos de Irrigação e Quimigação**. Disponível em <http://www.cnpms.embrapa.br/publicacoes/publica/2006/Circulares%20tecnicas/Circular%2086.pdf>. Acesso em 13 de outubro de 2010.

ASAE Standards 1999 Standards engineering practices data: EP405.1. **Design and installation of microirrigation systems**. St. Joseph. Mich: American Society of Agricultural Engineers. Dec., p. 879-883, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Emissores para sistema de irrigação localizada**: avaliação de características operacionais – método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987. 6 p.

AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W.. a qualidade de água na agricultura. Tradução de GHEYI, R. S.; MEDEIROS, J. F. DE; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande, PB: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO: irrigação e Drenagem, 29).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8.ed. Viçosa: UFV, 2006.625p.

BOMAN, B.J.; PARSONS,M.L. Changes in microsprinkler discharges resulting from long - turn use. **Transaction of ASAE**. St. Joseph, v.9, n.3, p.281-284, 1993.

BOMAN, B. J. Effects of orifice size on microsprinkler clogging rates. Transactions of the ASAE, St. Joseph, v. 11, n. 6, p. 839-843, 1995.

BOMAN, B. J.; ORTEMAA, E. Citrus microsprinkler clogging: costs, causes and cures. **Proceedings of the Florida State Horticultural Society**, Tallahassee, n. 107, p. 39-47, 1994.

BRASÍLIA. MINISTÉRIO DA INTEGRAÇÃO NACIONAL. (Org.). **Irrigação no Brasil**: Situação e Diretrizes. Brasília: Iica, 2008. 134 p. Disponível em: <<http://www.iica.int>>. Acesso em: 23 jul. 2013.

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

CAPRA, A.; SCICOLONE, B. recycling of poor quality urban wastewater by drip irrigation systems. **Journal of cleaner Production**, London, 2006. No prelo.

CARVALHO, J.O., E.P.A. (1976)Panorama Nacional de Irrigação. In. Anais do III Seminário Nacional de Irrigação e Drenagem. Vol. II; p. 283-326, Ministério do Interior- Departamento Nacional de Obras contra Seca (DNOCS), Fortaleza, CE.

CHANTEREAU, J. **Corrosion Bacteriene**. Techniques et documentation. 2. Ed. Paris: Lavousier, 1980. 168 p.

COELHO, R. D. **Contribuições para irrigação pressurizada no Brasil**. 2007. 192 p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

COSTA, H. R. B. **Introdução ao estudo da irrigação**. 2012. Disponível em: <http://www.ifgoiano.edu.br/ipora/images/stories/coordenacao/Bueno/1_-_Introducao.pdf>. Acesso em: 15 jul. 2013.

Gilbert, R.G.; Nakayama, F.S.; Bucks, D.A.; French, O.F.; Adamson, K.C. Trickle irrigation: emitter clogging and other flow problems. *Agricultural Water Management*, Amsterdam, v.3, n.3, p.159-178, 1981.

HILLEL, D. **Advances in irrigation**. New York: Academic Press, 1982. V. 1, 302 p.

KELLER, J.; BLIESNER, R.D. **Sprinkle and trickle irrigation**. New York: avibook, 1990. 649 p.

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

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D.A. Water quality in drip/ trickle irrigation: A review. *Irrigation Science*, New York, v. 12, p. 187-192, 1991.

MANO, E. B; MENDES, L.C. **Introdução a polímeros**. 2. Ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004. 191 p.

MERRIAM, J. L.; KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management**. Logan: Utah State University, 1978. 271 p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. **Trickle irrigation of crop**. Production design, operation and management. Amsterdam: Elsevier, 1986. 383 p.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A.; FRENCH, O. F.. Reclaiming partially clogged trickle emitters. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 20, p. 278-280, 1977.

PIZARRO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3. Ed. Madri: Mundi Prensa, 1996. 513 p.

RAIJ, B.van; et al. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo : (Boletim Técnico, 100)** 2 . ed . Campinas, Agrônômico & Fundação IAC, 1996. 285 p.

RALPH, D. E.; STEVENSON, J. M. The role of the bacteria in well clogging. **Water Research**, New York, v. 29, n. 1, p. 365-369, 1995.

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

RESENDE, R. S. **Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica e avaliação do desentupimento via cloração da água de irrigação**. Piracicaba, 1999. 77p. Dissertação (Mestrado Departamento de Engenharia Rural) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

RODRIGUEZ-SINOBAS, L., JUANA, L., LOSADA, A. Effects of temperature changes on emitter discharge. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. New York, v. 125, n. 2, Mar-April, p. 64-73, 1999.

SILVA, M. G. **Irrigação: Irrigar é preciso**. Disponível em:
<[HTTP://www.agrobyte.com.br/irrigação.htm](http://www.agrobyte.com.br/irrigação.htm)>. Acesso em: 19 ago. 2013.

SILVA, M. O.; ALMEIDA, C. Incrustações ferruginosas em captações: um caso de recuperação espetacular. **Boletim do Museu e Laboratório Mineralógico e Geológico da Faculdade de Ciências de Lisboa**, Lisboa, v. 16, n. 1, p. 219-227, 1979.

SOLOMOM, K. H. Manufacturing variation of trickle emitter. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 22, n. 4, p. 1034-1043, July/Aug. 1979.

TEIXEIRA, M. B. **Efeitos de dosagens extremas de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes (irrigação localizada)**. 2006. 322 p. Tese(Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiróz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2006.

TELLES e VIEIRA, **Panorama da Irrigação no Brasil**. 2001. Disponível em: <http://upcommons.upc.edu/revistes/bitstream/2099/2789/1/82article5.pdf> . Acesso em 13 de outubro de 2010.

Telles, D. A. (1993). O Setor de Irrigação como Usuário dos Recursos Hídricos. Palestra proferida na Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP, disciplina IC 116 – Seminário sobre Recursos Hídricos . Campinas - SP, 19p.

VIDELA, H. A. **Biocorrosão, biofouling e biodeteriorização de materiais**. São Paulo: Edgard Blusher, 2003. 148 p.

WU, I. P.; GITLIN, H. M. Drip irrigation based on uniformity. **Transactions of the ASAE**. St. Joseph, v. 17, n. 3, p. 429-432, 1974.