**Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”**

**Dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados
químicos e fitoplâncton**

Ralini Ferreira de Mélo

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

**Piracicaba
2007**

Ralini Ferreira de Mélo
Engenheira Agrônoma

Dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e fitoplâncton

Orientador:
Prof. Dr. **RUBENS DUARTE COELHO**

Tese apresentada para obtenção do título de Doutor em
Agronomia. Área de concentração: Irrigação e Drenagem

Piracicaba
2007

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Mélo, Ralini Ferreira de

Dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e fitoplâncton / Ralini Ferreira de Mélo. - - Piracicaba, 2007.
189 p. : il.

Tese (Doutorado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2007.
Bibliografia.

1. Água para irrigação – Qualidade 2. Fitoplâncton 3. Gotejadores 4. Irrigação localizada I. Título

CDD 631.7

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte – O autor"

DEDICATÓRIA

*Ao meu esposo Lindomário Barros de Oliveira, pelo amor,
incentivo, paciência e companheirismo.*

Dedico,

*Aos meus pais Reginaldo Marques e Ana Rita,
meus irmãos Ricardo e Renata às avós Joanita e Alice, e ao sempre
fiel companheiro Busther, que me apoiaram para concluir esta
importante etapa da minha vida;
com muito carinho.*

Ofereço.

AGRADECIMENTOS

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, da Universidade de São Paulo, pela oportunidade de realização do curso.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior – CAPES, pela concessão da bolsa de estudo.

À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo apoio financeiro através do Projeto de Pesquisa n.º 03/12863-1, o qual viabilizou a realização do presente trabalho.

Ao Prof. Dr. Rubens Duarte Coelho, pela sempre presente orientação, incentivo, apoio e oportunidades concedidas.

Aos Prof. Dr. Jose Antonio Frizzzone, José Júlio Vilar Rodrigues, Marcos Vinicius Folegatti, Sérgio Nascimento Duarte e Tarlei Arriel Botrel co-responsáveis por esta importante conquista, pelo profissionalismo e amizade.

Aos professores Jarbas Honório de Miranda, Marcos Vinicius Folegatti e Sérgio Nascimento Duarte pelas correções e sugestões durante a qualificação.

A Lindomário Barros de Oliveira pelos incontáveis auxílios no decorrer do desenvolvimento do trabalho, principalmente no início do experimento para composição das diferentes águas e correções da tese.

Aos amigos e aqueles que se tornaram “meio-irmãos”, por laços de orientação, em especial ao Dr. Marconi Batista Teixeira e a Pabblo Atahualpa de Aguiar Ribeiro, Tales Miler Soares e Ceres Duarte, Rodrigo M. Sánchez Róman, do curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem pelo agradável convívio e pelos constantes auxílios no decorrer do experimento.

Aos colegas e amigos do curso de pós-graduação em irrigação e drenagem Allan Barros, Cícero René, Marcelo Peske e Pedro Medeiros pela coleta de dados nos ensaios finais e aos grandes desenhistas Edinaldo Pereira e Cleomar Oliveira e ao amigo e tradutor Rodrigo Maximo.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural: Seu Antonio, Davilmar Colevatti, Elio Gomes de Toledo, Gilmar Grigolon, Osvaldo Retore, Sandra Mello e a todos que colaboraram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho.

Aos fabricantes de tubogotejadores que doaram materiais para a realização dos ensaios.

Aos amigos Edna Bonfim e Tonny José Araújo da Silva, pela especial amizade e ponto de apoio na minha estada em Piracicaba e aos queridos amigos Dr. Marcos Emanuel e Madaíla. C.Veloso, pela amizade e pelo exemplo de humildade e dedicação.

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1 INTRODUÇÃO.....	10
2 DESENVOLVIMENTO.....	13
2.1 Revisão Bibliográfica.....	13
2.1.1 Cenário da irrigação no Mundo e no Brasil.....	13
2.1.2 Irrigação localizada e obstruções de emissores.....	14
2.1.3 Sensibilidade de emissores a obstruções.....	17
2.1.4 Qualidade da água de irrigação.....	18
2.1.5 Entupimento por partículas.....	19
2.1.6 Entupimento por precipitados de carbonatos e Índice de Saturação de Langelier.....	20
2.1.7 Entupimento por processos biológicos.....	21
2.1.8 Entupimento de emissores e formas de prevenção.....	22
2.1.9 O processo de acidificação artificial da água.....	24
2.2.1 Material e Métodos.....	25
2.2.2 Localização do experimento.....	25
2.2.3 Descrição da bancada de ensaios.....	25
2.2.4 Modelos de gotejadores utilizados nos ensaios.....	26
2.2.5 Medidas iniciais de vazões dos gotejadores novos.....	29
2.2.6 Descrição dos ensaios.....	36
2.2.7 Primeira fase.....	37
2.2.7.1 Ensaios 1 e 2: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes por precipitados químicos de carbonato de cálcio e magnésio.....	37
2.2.7.2 Ensaios 3 e 4: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com aplicação contínua de HNO_3 por 12 h.....	40
2.2.7.3 Ensaios 5 e 6: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes com utilização de sulfato de cálcio em solução.....	41
2.2.8 Segunda fase.....	42

2.2.8.1 Ensaio 7 e 8: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com HCl, HNO ₃ e H ₂ SO ₄	42
2.2.8.2 Ensaio 9 e 10: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com HCl, HNO ₃ , H ₂ SO ₄ e CO ₂	43
2.2.9 Terceira fase.....	45
2.2.9.1 Ensaio 11: Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de carbonato de potássio e posterior tratamento com HNO ₃	45
2.2.9.2 Ensaio 12: Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de superfosfato simples e posterior tratamento com HNO ₃	46
2.2.9.3 Ensaio 13: Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de cal hidratada.....	46
2.2.9.4 Ensaio 14: Dinâmica do entupimento de gotejadores com água de elevado fitoplâncton e aplicação de cloro para desobstrução.....	47
2.3 Resultados e Discussão.....	48
2.3.1 Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais por precipitados químicos de carbonatos de cálcio e magnésio.....	48
2.3.2 Monitoramento de entupimento em gotejadores autocompensantes por precipitados químicos de carbonatos de cálcio e magnésio.....	57
2.3.3 Desobstrução de gotejadores convencionais com aplicação contínua de HNO ₃ por 12 h.....	75
2.3.4 Desobstrução de gotejadores autocompensantes com aplicação contínua de HNO ₃ por 12 h.....	79
2.3.5 Monitoramento da obstrução de gotejadores convencionais com utilização de sulfato de cálcio em solução.....	83
2.3.6 Monitoramento da obstrução de gotejadores autocompensantes com a utilização de sulfato de cálcio em solução.....	85
2.3.7 Desobstrução de gotejadores convencionais com a utilização de HCl, HNO ₃ e H ₂ SO ₄	89
2.3.8 Desobstrução de gotejadores autocompensantes com a utilização de HCl, HNO ₃ e H ₂ SO ₄	93
2.3.9 Desobstrução de gotejadores convencionais com CO ₂	103

2.3.10 Desobstrução de gotejadores autocompensantes com CO ₂	106
2.3.11 Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de carbonato de potássio e posterior tratamento com HNO ₃	114
2.3.12 Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de superfosfato simples e posterior tratamento com HNO ₃	125
2.3.13 Dinâmica do entupimento de gotejadores com a utilização de cal hidratada.....	133
2.3.14 Dinâmica do entupimento de gotejadores com água de elevado fitoplâncton e aplicação de cloro para desobstrução.....	142
3 CONCLUSÕES.....	152
REFERÊNCIAS.....	153
ANEXOS.....	160

RESUMO

Dinâmica e controle do entupimento de gotejadores em função de precipitados químicos e fitoplâncton

Este trabalho foi desenvolvido visando quantificar possíveis distúrbios de vazão em emissores do tipo gotejador (irrigação localizada) submetidos à utilização de água com diferentes *Índices de Saturação de Langelier*, fertilizantes ou água com elevado fitoplâncton. O experimento foi realizado em três fases, utilizou-se 26 modelos de gotejadores autocompensantes e convencionais, sendo suas linhas montadas em uma bancada de ensaios em estrutura metálica com quatro blocos. A primeira fase compreendeu os ensaios 1 e 2: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes por precipitados químicos de carbonatos de cálcio e magnésio; 3 e 4: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com aplicação contínua de HNO_3 por 12 h; e ensaios 5 e 6: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes com a utilização de sulfato de cálcio a partir de 240 h de funcionamento do sistema; segunda fase: d) ensaios 7 e 8: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com a utilização de HCl , HNO_3 e H_2SO_4 ; e) ensaios 9 e 10: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com CO_2 ; Terceira fase: f) ensaio 11: Dinâmica do entupimento de gotejadores com a utilização de carbonato de potássio e posterior tratamento com HNO_3 , g) ensaio 12: Dinâmica do entupimento de gotejadores com a utilização de superfosfato simples e posterior tratamento com HNO_3 ; h) ensaio 13: Dinâmica do entupimento de gotejadores com a utilização de cal hidratada; i) ensaio 14: Dinâmica do entupimento de gotejadores com água de elevado fitoplâncton e aplicação de cloro para desobstrução. Os resultados obtidos mostram que há diferenças marcantes entre modelos de emissores quanto ao seu desempenho sob diferentes *Índices de Saturação de Langelier*, tanto na susceptibilidade ao entupimento quanto no coeficiente de variação. Adequações na arquitetura ou no processo de fabricação dos gotejadores avaliados podem minimizar tanto a obstrução como os efeitos ocasionados por ela. O desempenho dos emissores evidencia elevada relação com o mecanismo de compensação de vazão dos mesmos. Emissores convencionais mostraram-se mais estáveis que os autocompensantes nos ensaios. Houve diferenças entre os modelos de gotejadores avaliados, com relação à suscetibilidade ao entupimento. Observou-se diferenças dos gotejadores avaliados quanto à resposta ao número de aplicações e ácidos utilizado, sendo que o HNO_3 apresentou resultados mais positivos para maioria dos modelos. Os ácidos utilizados induziram o entupimento de alguns emissores e em outros modelos provocou aumento de vazão.

Palavras-chave: Acidificação; Índice de Saturação de Langelier; Irrigação localizada

ABSTRACT

Dynamic and control of drippers clogging due to chemical precipitates and fitoplankton content

This study attempts to quantify the flow rate variation in drippers (trickle irrigation) submitted to water with different hardness (*Langelier Saturation Index*), others fertilizer precipitates and fitoplankton content. The experiment was accomplished in three phases, 26 models of self-compensating (SC) and conventional (C) drippers were used. Drip lines were supported in a special test bench with four blocks. The first phase tests 1 and 2: clogging of SC and C drippers by chemical precipitates of calcium and magnesium carbonates; tests 3 and 4: unclogging of previous drippers with continuous application of HNO_3 for 12 h; and tests 5 and 6: clogging of SC and C drippers by calcium sulfate. Second phase: tests 7 and 8: unclogging of SC and C drippers with HCl , HNO_3 and H_2SO_4 acids; tests 9 and 10: unclogging of SC and C drippers with CO_2 . Third phase: test 11: dynamic of drippers clogging by potassium carbonate and subsequent treatment with HNO_3 , test 12: dynamics of drippers clogging by superfosfate fertilizer and subsequent treatment with HNO_3 ; test 13: dynamics of drippers clogging by calcium oxide; test 14: dynamics of drippers clogging with water presenting high level of fitoplankton (algae) and application of chlorine for recovering. The results showed that there are noticeable differences for clogging susceptibilities and flow rate variation coefficient among emitters related to their performance under different *Langelier Saturation Indexes*, chemical precipitates and water fitoplankton content. Labyrinth design of the evaluated drippers can minimize either the obstruction or the effects caused by them. The negative performance of emitters evidences outstanding correlation with self-compensation flow rate mechanism. Conventional emitters showed more stable performance compare to other ones. There were differences among drippers models evaluated, regard to the susceptibility to clogging. It was also observed differences regarding the recovery rate related to the application frequency of acid and chemical used. HNO_3 presented positive results for the most models. The acid treatment can result clogging of some emitters under certain circumstances.

Keywords: Irrigation; Langelier Saturation Index; Drip irrigation

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional, a humanidade se vê compelida a usar com maior intensidade o solo agricultável, o que vem impulsionando o uso da irrigação, não só para complementar as necessidades hídricas das regiões úmidas como, também, para tornar produtivas as regiões áridas e semi-áridas, que constituem aproximadamente 55 % da sua área continental total. Atualmente, mais de 50 % da população mundial dependem da agricultura irrigada (WERNECK; FERREIRA; CHRISTOFIDIS, 1999).

Em regiões onde a precipitação pluvial não é suficiente para atender às necessidades hídricas das culturas, ou mesmo onde ela é suficiente, mas não é bem distribuída ao longo do ano, a aplicação da irrigação torna-se necessária ao pleno desenvolvimento das espécies cultivadas.

Por outro lado, a água é um recurso natural em escassez, em muitas regiões do Planeta, inclusive do Brasil. Atualmente, um dos sistemas de irrigação mais apropriados e em notável expansão é o sistema de irrigação por gotejamento, o qual apresenta vantagens como à economia de água e energia, possibilidade de automação e fertirrigação. Além de apresentar baixo risco de contaminação de operadores em campo e do produto agrícola final (CARARO, 2004).

Um sistema de irrigação bem projetado permite que se obtenha uniformidade de aplicação de água acima de 90 %, o que representa um bom índice. No entanto, com a utilização do sistema de irrigação localizada, o entupimento provoca uma diminuição na uniformidade de emissão (UE) e um aumento no coeficiente de variação de fabricação (CVf). De acordo com Resende; Coelho e Piedade (2000), um aumento no CVf está relacionado ao processo de obstrução, cujo principal responsável é a qualidade da água usada na irrigação, uma vez que o problema não afeta igualmente todos os emissores de uma instalação, introduzindo um novo fator de variação não previsto, que se somam às originadas pela variação de fabricação e dimensionamento hidráulico.

O entupimento de emissores está diretamente relacionado à qualidade da água de irrigação que inclui fatores como: quantidade de partícula suspensa, composição química e população microbiana. Para culturas anuais de alto valor econômico e para culturas perenes na qual a longevidade do sistema é especialmente importantes, emissores entupidos podem causar grandes perdas econômicas. Embora se tenha informações disponíveis quanto aos fatores que causam o entupimento, o controle por medidas preventivas na maioria das vezes não se produz os efeitos desejados e a desobstrução corretiva, nem sempre é possível ou economicamente viável.

Os problemas podem ser minimizados por design apropriado, instalação e práticas operacionais. Os procedimentos para recuperação de emissores entupidos resultam em aumento do custo operacional. Problemas de entupimento desencorajam freqüentemente novos irrigantes, causando uma adoção lenta da tecnologia, pois a solução do problema nem sempre está disponível ou não é economicamente viável (BUCKS; NAKAYAMA; GILBERT, 1979; NAKAYAMA; BUCKS, 1986; NAKAYAMA; BUCKS, 1991). Se os emissores entopem em curto espaço de tempo, os procedimentos de recuperação elevam os custos de manutenção e pode ainda não ser efetivos, o que normalmente leva o irrigante a abandonar o sistema e a retomar a utilização de métodos de irrigação menos eficientes (GILBERT; FORD, 1986).

Ayers e Westcot (1991) afirmam que as obstruções causadas pelas precipitações químicas de materiais como o carbonato e o sulfato de cálcio ocorrem gradualmente e, portanto, são mais difíceis de serem localizadas. As obstruções por microrganismos (fitoplâncton - algas e zooplâncton - bactérias) que se desenvolvem alimentando-se de resíduos orgânicos ou inorgânicos presentes nas águas são causadas pelos filamentos dos microrganismos que crescem formando uma matriz gelatinosa e pegajosa, que se adere nas partes internas da tubulação e dos emissores. Já as obstruções oriundas de material em suspensão são as de mais fácil solução, haja vista que um eficiente sistema de filtração, pode reduzir significativamente o problema (RESENDE, 1999; CORDEIRO; VIEIRA; MANTOVANI, 2003; SOUZA; CORDEIRO; COSTA, 2006).

Por melhor que seja a qualidade da água de irrigação, as obstruções sempre aparecem, criando a necessidade de tratamento da mesma, para que ao longo da vida útil o sistema possa distribuí-la com a maior uniformidade possível. Anteriormente ao tratamento, faz-se necessário, uma avaliação do risco de obstrução que a água oferece, para que se tenha uma idéia do tipo de tratamento a ser realizado. Diversos autores citam formas de tratamento de água para irrigação localizada (NAKAYAMA; BUCKS, 1986; RAVINA et al., 1992; SANTOS, 1995; PIZARRO CABELLO, 1996; AYERS; WESTCOT, 1999; RESENDE; COELHO; PIEDADE, 2000; TEIXEIRA, 2006).

Com relação à precipitação de carbonato de cálcio (CaCO_3), os problemas de desuniformidade de vazão estão associados à alteração ou distúrbios na vazão nominal do gotejador, devido às obstruções provocadas pelos precipitados nos reduzidos diâmetros dos condutos e bocais dos emissores e pela lenta velocidade de escoamento. Nos emissores

autocompensantes, na fase inicial do processo de entupimento, pode ocorrer o aumento da vazão nominal do gotejador, devido à deposição de materiais na sua membrana flexível, assim como pela deterioração da mesma (GILBERT et al., 1981; RESENDE, 1999; VILELA; RESENDE; SOARES, 2001; TEIXEIRA, 2006).

Para a minimização do entupimento são sugeridas diversas técnicas visando o tratamento e recuperação de emissores (RESENDE, 1999; CORDEIRO, 2002; TEIXEIRA 2006). Entre as práticas mais usuais estão a filtragem e a cloração. O conjunto de medidas adotadas visando reduzir ou evitar o entupimento de emissores irá variar em função da fonte causadora do entupimento. A avaliação sistemática do sistema de irrigação e o monitoramento da qualidade da água são essenciais para prevenir o entupimento. De modo geral, uma das medidas mais utilizadas para desobstrução ou prevenção de entupimento por precipitados químicos é a utilização de ácidos minerais (HNO_3 , HCl , H_2SO_4) adicionados à água de irrigação (RAVINA et al., 1992; PIZARRO CABELLO, 1996; RESENDE, 1999; RESENDE et al., 2001; TEIXEIRA, 2006).

Com base nos problemas citados anteriormente levantamos as seguintes hipóteses: a) águas com diferentes níveis de carbonato de cálcio e magnésio induzem a um entupimento variável em emissores do tipo gotejadores, de acordo com os valores de *Índice de Saturação de Langelier* (ISL); b) águas com a utilização de sulfato de cálcio, cal hidratada, superfosfato simples e elevado fitoplâncton obstruem os emissores quando utilizados na fertirrigação; c) modelos/arquiteturas variáveis de gotejadores apresentam comportamentos distintos com relação à susceptibilidade ao entupimento por precipitados químicos de carbonatos de cálcio e magnésio; e d) a aplicação de ácidos e gás carbônico possibilita o controle do entupimento por precipitados químicos de carbonatos de cálcio e magnésio em emissores do tipo gotejadores.

Para responder as hipóteses abordadas anteriormente os principais objetivos foram: a) avaliar a susceptibilidade de gotejadores ao entupimento, quando submetidos a diferentes qualidades de água e fertilizantes, comumente utilizado na irrigação localizada; b) avaliar a recuperação da vazão nominal desses gotejadores com a utilização de ácidos minerais (HCl , HNO_3 e H_2SO_4) e dióxido de carbono.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 Revisão Bibliográfica

2.1.1 Cenário da irrigação no Mundo e no Brasil

Atualmente, quase a metade da população mundial depende de alimentos produzidos em áreas irrigadas. O contínuo crescimento demográfico mundial exige uma agricultura competitiva e tecnificada que possibilite a produção de alimentos de melhor qualidade e em maior quantidade, permitindo a melhor utilização das áreas já agricultadas, contribuindo, assim, para preservação das áreas não agricultadas, sendo a irrigação uma ferramenta para o alcance desses objetivos. Na Tabela 1, apresenta-se o panorama atual da área irrigada em diversos países, bem como a relação entre as áreas irrigadas e cultivadas. Observou-se que, dos países citados, o Brasil apresenta a menor relação entre a área irrigada e a área cultivada.

Cerca de 1.225 milhões de hectares cultivados são responsáveis por 58 % da colheita total, desses hectares cultivados, são irrigados apenas 18 % da área produtiva total, contribuindo por volta de 42 % do total colhido. Ressalta-se que, em 24 anos, a agricultura irrigada mundial aumentou de 190 milhões para 275 milhões de hectares, ou seja, 45 %. Isso faz com que mais empresas invistam em tecnologia de irrigação, aprimorando o setor com mais investimentos na eficiência de seus equipamentos (CHRISTOFIDIS, 2002).

O uso da água na agricultura representa mundialmente cerca de 70 % de toda água derivada de rios, lagos e mananciais subterrâneos, enquanto a indústria utiliza 23 % e o abastecimento humano consome 7 %. Apesar do grande consumo de água a irrigação representa a forma mais eficiente e produtiva de obter alimentos. Estima-se que, no futuro próximo, entre 50 a 70 % da produção de alimentos serão provenientes da agricultura irrigada (RIBEIRO, 2003).

A crescente inserção do Brasil no cenário mundial tem pressionado mudanças no sentido de que seus produtos sejam competitivos. Para que isso seja possível, os produtores estão despertando para a tecnologia da irrigação, e ela toma impulso principalmente no semi-árido brasileiro, onde a carência hídrica é acentuada e se tem investido, sobretudo na irrigação localizada (VICENTE, 2005).

O uso da irrigação localizada vem permitindo que o semi-árido brasileiro se torne uma região altamente tecnificada e especializada em produção de frutas e hortaliças de boa qualidade, com destaque para o Vale do São Francisco, cuja produção é destinada à exportação (LOIOLA; SOUZA, 2001).

Tabela 1 – Panorama da área irrigada em alguns países e percentual dessa área irrigada sobre o total de área cultivada

País	Área irrigada (milhões de ha)	% da área irrigada/cultivada
Índia	59,0	35
China	53,7	32
EUA	22,4	12
Paquistão	17,9	86
Irã	7,5	50
México	6,5	26
Indonésia	4,8	22
Uzbequistão	4,8	-
Tailândia	4,7	24
Rússia	4,6	-
Turquia	4,5	16
Bangladesh	4,0	-
Espanha	3,6	17
Iraque	3,5	-
Egito	3,3	10
Brasil	3,1	5
Total mundial	207,9	335

Fonte: (CHRISTOFIDIS, 2002).

Com o avanço da utilização da irrigação localizada no Brasil, começam a vir a público, problemas de perda de desempenho de equipamentos em regiões do País onde existem águas com elevados teores de carbonatos (LEITE, 1995; MAIA; MORAIS; OLIVEIRA, 2001; SILVA JÚNIOR et al., 2003).

2.1.2 Irrigação localizada e obstruções de emissores

A utilização do sistema de irrigação por gotejamento na agricultura viabilizou soluções para diversos problemas enfrentados pelos agricultores, tais como o cultivo de solos de baixa a média fertilidade natural, de terrenos acidentados, consumo de energia e mão-de-obra que nos dias atuais é mais limitante a agricultura irrigada, aumentou a eficiência no uso da água, permitindo assim a otimização da produção agrícola (LEITE, 1995).

No Brasil, a irrigação localizada começou a ser utilizada no final da década de 70, ocupando, em 1999, uma área estimada de 212 mil hectares, correspondendo a 8 % do total da área irrigada (CHRISTOFIDIS, 2002). Este método tem sido bastante utilizado por causa de suas características de aplicações de pequenas vazões e alta frequência, aplicação de fertilizantes via água de irrigação (distribuídos na zona radicular das culturas), baixas pressões e alta eficiência (geralmente superior a 90 %), possibilitando um controle eficiente da lâmina de irrigação (LEITE, 1995; RESENDE, 1999; BERNARDO; SOARES; MANTOVANI, 2006).

Este sistema de irrigação, na maioria das vezes, ameniza o problema de escassez de água, entretanto, o pequeno diâmetro dos orifícios dos gotejadores facilita o entupimento, contribuindo para a redução da sua eficiência, produtividade e qualidade da colheita (LEITE, 1995).

O entupimento de emissores continua sendo o principal problema em sistemas de irrigação por gotejamento. Para culturas anuais de alto valor econômico e para culturas perene onde a longevidade do sistema é especialmente importante, emissores entupidos podem causar perdas econômicas. Embora informações quanto aos fatores que causam o entupimento estejam disponíveis, o controle por medidas preventivas nem sempre tem êxito. Os problemas podem ser minimizados por design apropriado, instalação e práticas operacionais ou procedimentos para recuperação de emissores entupidos, que resulta em aumento do custo operacional. Problemas de entupimento desencorajam freqüentemente novos irrigantes, causando descrédito temporário na tecnologia, pois a solução do problema nem sempre está disponível ou não é economicamente viável (BUCKS; NAKAYAMA; GILBERT, 1979; NAKAYAMA, 1986; NAKAYAMA; BUCKS, 1991).

Diversos fatores podem provocar o entupimento parcial ou a completa obstrução dos bocais de emissores e tubulações, prejudicando o fluxo de água e a sua distribuição ao longo da linha principal, de derivação e principalmente nas laterais, reduzindo, conseqüentemente a eficiência do sistema. Dentre tais fatores, destacam-se a precipitação química por íons contidos na água de irrigação, especialmente os carbonatos de cálcio e/ou de magnésio, bastante comuns em regiões áridas e semi-áridas. Águas utilizadas em irrigação com essas características ocorrem com frequência no Norte de Minas Gerais, em algumas regiões do Estado de São Paulo e em parte do Nordeste do País (NAKAYAMA; BUCKS, 1991; RAVINA et al., 1992; LEITE, 1995; RESENDE, 1999; 2003).

O mercado dispõe de diversos tipos de gotejadores disponíveis para vendas, apresentando diferentes sensibilidades ao entupimento (RAVINA et al., 1992; RESENDE, 1999; PIZARRO CABELLO, 1996). Segundo Ravina et al. (1992), os gotejadores, geralmente, apresentam vulnerabilidade aos problemas citados, em função de apresentarem estreitas passagens e pequenas aberturas. Entretanto, aqueles que possuem membranas autolimpantes ou que possibilitam maior turbilhonamento da água no seu interior apresentam-se menos suscetíveis ao entupimento dos bocais dos emissores.

Os precipitados químicos podem ser produzidos quando as condições iniciais da água (pH, temperatura, sólidos dissolvidos totais) são modificadas e, sobretudo pela evaporação da água nos emissores após cada irrigação, o que aumenta a concentração dos sais dissolvidos que se precipitam ao superar o limite de solubilidade. As obstruções são formadas gradualmente e, portanto, são mais difíceis de detectar (PITTS; HAMAN; SMAJSTRLA, 1990; LEITE, 1995; PIZARRO CABELLO, 1996), sendo esses fatores mais freqüentes em climas árido e semi-árido.

Dentre os trabalhos feitos com objetivo de se observar e prevenir a precipitação por carbonatos, destaca-se o de Hills et al. (1989) que avaliaram por 100 dias o efeito de precipitados químicos no entupimento de emissores e na uniformidade da irrigação, com diferentes manejos: variação do pH, da temperatura e da condutividade elétrica. Eles observaram que a obstrução parcial e total por precipitados químicos ocorreu em todos os manejos para a água com alta concentração de sais e elevado pH. Leite (1995) avaliou a susceptibilidade de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos de carbonato de cálcio e, durante a condução do experimento verificou que as precipitações químicas ocorreram gradualmente, modificando os coeficientes de variação de vazão e as uniformidades de distribuição dos tubogotejadores; como forma de tratamento utilizou a sobrepressão hidráulica no sistema ao final do teste, o que se mostrou ineficiente. Dias; Oliveira e Coelho (2003) avaliaram a susceptibilidade de diferentes tipos de tubogotejadores ao entupimento por precipitados químicos de sulfato de cálcio e observaram modificações da vazão com reduções de até 78 %.

Ayers e Westcot (1991) afirmam que alguns fertilizantes injetados ao sistema de irrigação podem provocar precipitações. Se a concentração de cálcio é superior a 6 meq L^{-1} , os fertilizantes fosfatados obstruirão os emissores. Ao mesmo tempo, concentrações de bicarbonatos acima de 5 meq L^{-1} provocaram problemas mais graves. Por outro lado, a aplicação de amônia anidra ou líquida em sistemas de irrigação localizada é recomendada, uma vez que pode aumentar o pH da

água até valores de 11, aproximadamente, o que contribui para uma rápida precipitação de carbonato de cálcio e/ou de magnésio. Têm-se comprovado casos de precipitação como resultado da aplicação de produtos fosfatados, em que o fosfato solúvel pode combinar-se com o cálcio ou o magnésio da água e depositar-se de forma insolúvel (VERMEIREN; JOBLING, 1986), causando o entupimento dos componentes do sistema de irrigação (PINTO; SOARES, 1990).

Langelier (1936) desenvolveu um índice de saturação (IS), para ser utilizado em água com valores de pH entre 6,5 e 9,5, o que permite predizer se em uma determinada água haverá ou não precipitação de carbonato de cálcio. Se o IS for positivo a água terá tendência de produzir precipitados químicos de CaCO_3 . Caso contrário, se o IS for negativo, a água terá a tendência de manter o CaCO_3 dissolvido em solução, isto é, não produzirá precipitados químicos.

O processo de recuperação dos emissores por meios de injeção de ácidos, geralmente, adicionam custos de manutenção ao sistema e em algumas circunstâncias, podem ser ineficientes quando o entupimento for total (GILBERT; NAKAYAMA; BUCKS, 1979). Dessa forma surge a necessidade de buscar alternativa sendo uma delas a aplicação de CO_2 via água de irrigação. Enoch e Olesen (1993) citaram que, do CO_2 aplicado, somente 1 % está na forma de ácido carbônico, o qual se transforma em HCO_3^- e CO_3^{2-} , reduzindo o pH da água. O restante permanece dissolvido na água e deixa o solo na forma de gás. Isso sugere que a importância maior do uso do CO_2 seja a redução do pH e a diminuição do risco de precipitados químicos carbonatados. Outro benefício da utilização do CO_2 é o aumento da produtividade da cultura quando aplicado via água de irrigação. Trabalhos feitos com injeção de CO_2 em diversas culturas demonstraram que o mesmo reduz o consumo de água pela planta, promove aumento na produção das culturas e melhora a eficiência do uso da água, o conteúdo de nutrientes, teor de amido e açúcares redutores, dentre outros benefícios (FONSECA, 2001; ARAÚJO, 2002; ROBLES, 2003; D'ALBUQUERQUE JÚNIOR, 2003).

2.1.3 Sensibilidade de emissores a obstruções

O entupimento de emissores é um importante problema relacionado com a operação e manutenção do sistema de irrigação localizada e está diretamente associado à qualidade da água de irrigação. Entupimentos são resultantes de agentes físicos, químicos e biológicos. Dentre as

causas mais comuns estão: a precipitação de sais, o crescimento microbiológico, a presença de insetos nos gotejadores e sedimentos nos labirintos dos emissores (GILBERT; FORD, 1986).

Associado a esses problemas, tem-se também o diâmetro do orifício de passagem de água dos emissores. Observa-se na Tabela 2 a classificação dos emissores quanto à sensibilidade às obstruções, de acordo com o diâmetro mínimo de passagem de água (PIZARRO CABELLO, 1996).

Tabela 2 - Classificação de emissores quanto à sensibilidade ao entupimento

Diâmetro mínimo (mm)	Sensibilidade à obstrução
$\leq 0,7$	alta
0,7 a 1,5	média
$\geq 1,5$	baixa

Baseado em aproximações estatísticas, Wu; Irudayaraj e Feng (1988) identificaram cinco situações típicas em sistemas de irrigação localizada quando o entupimento ocorre: (1) o entupimento afeta igualmente todos os emissores parcialmente obstruídos; (2) uma específica proporção de emissores é parcialmente afetada pela obstrução, (3) todos os emissores são afetados totalmente e igualmente; (4) completo entupimento afeta igualmente todos os emissores; e (5) existência de combinações de obstruções parciais e completas nos gotejadores.

2.1.4 Qualidade da água de irrigação

Em sistemas de irrigação localizada, além dos aspectos relacionados ao risco de salinidade e toxidade, procura-se também avaliar fatores que permitam prever o risco potencial de obstruções em emissores tais como intrusão radicular, danos químicos as membranas dos gotejadores, crescimento de mucilagens e, ou precipitação de íons nos emissores (NAKAYAMA; BUCKS; FRENCH, 1977; SOLOMON, 1985; COELHO; FARIA; MÉLO, 2006; TEIXEIRA, 2006).

Na atualidade, não se dispõe de um método seguro para avaliar o risco de entupimento pelo uso de uma determinada água de irrigação. A dificuldade reside no fato de que alguns fatores intervenientes são variáveis, como a temperatura, que afeta a formação de precipitados e o desenvolvimento de microrganismos, e outros que não dependem somente da água mas também dos produtos que se adicionam, como os fertilizantes (PIZARRO CABELLO, 1996).

2.1.5 Entupimento por partículas

O entupimento de emissores relacionados aos aspectos físicos se refere à presença de partículas inorgânicas suspensas (areia, silte e argila) succionadas pelo sistema de bombeamento, e partículas de origem orgânica (formigas, lesmas, ovos de insetos, larvas etc.).

Gilbert e Ford (1986) enumeram os riscos potenciais de entupimento em emissores pela qualidade da água de irrigação conforme consta na Tabela 3.

Tabela 3 - Risco potencial de entupimento de emissores pela água de irrigação

Tipo de problema	Reduzido	Médio	Alto
Físico			
Sólidos suspensos (mg L^{-1})	<50	50 - 100	> 100
Químico			
pH	<7,0	7,0 - 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (mg L^{-1})	<500	500 - 2.000	> 2.000
Manganês (mg L^{-1})	<0,1	0,1 - 1,5	> 1,5
Ferro total (mg L^{-1})	<0,2	0,2 - 1,5	> 1,5
Ácido sulfídrico (mg L^{-1})	<0,2	0,2 - 2,0	> 2,0
Biológico			
População bacteriana (UFC mL^{-1})	<10.000	10.000 - 50.000	> 50.000

Fonte: Gilbert e Ford (1986)

Uma forma de evitar esses inconvenientes, seria retirar todo o material presente na água. Para isso são necessários filtros com malha excessivamente pequena. Porém, tais filtros podem tornar-se entupidos em curto espaço de tempo, aumentando consideravelmente a necessidade de retrolavagem (NAKAYAMA; BUCKS, 1986). No dimensionamento do sistema de filtragem, um dos critérios levados em conta é não permitir a passagem de partículas com diâmetros maiores que 1/10 e 1/5 do menor diâmetro do orifício de passagem no interior do emissor, para gotejadores e microaspersores, respectivamente (KELLER; BLIESNER, 1990; PIZARRO CABELLO, 1996). Esse critério pode ser insuficiente, uma vez que partículas de argila presentes na água de irrigação conseguem passar através do sistema de filtragem. Embora não constituam problema por si só, essas partículas podem sofrer processo de cimentação, através de mucilagem de algas filamentosas ou bactérias, causando obstrução física em emissores e obstrução química pela precipitação de carbonatos. Gilbert; Nakayama e Bucks (1979) observaram, em linhas

secundárias de um sistema de irrigação por gotejamento, uma concentração de sólidos suspensos de 10 a 100 vezes maiores que a encontrada na captação no rio Colorado (EUA), resultado da agregação e de cimentação após passarem por conjunto de filtros de areia e de tela de 200 mesh.

2.1.6 Entupimento por precipitados de carbonatos e Índice de Saturação de Langelier

O entupimento de origem química em emissores se relaciona principalmente à passagem de determinados elementos químicos na forma natural em que se encontram solúveis na água, para um novo estado de oxidação/redução, de menor solubilidade, com formação de precipitados. Tais processos de oxidação/redução envolvem a presença de bactérias, as quais podem, ou não, ser específicas para um determinado elemento. Ferro, enxofre e manganês são os principais elementos químicos incluídos nesse processo, não sendo válido para cálcio e magnésio. A condição de pH da água e a incompatibilidade entre fertilizantes são também responsáveis diretos por formação de precipitados químicos (GILBERT; NAKAYAMA; BUCKS, 1979; PARRA, 2001; PATERNIANI; PINTO, 2001)

O carbonato de cálcio constitui o principal responsável por entupimentos em regiões áridas. A precipitação de carbonato de cálcio mostra-se freqüente em águas ricas em cálcio e bicarbonato (GILBERT; FORD, 1986). Com o intuito de antever problemas de obstrução de emissores, deve ser efetuada a análise química para determinar a concentração de cálcio, carbonato, bicarbonato, ferro e manganês na água.

Com relação ao potencial de risco de obstrução pelo teor de cálcio na água de irrigação, Nakayama (1986) sugere a utilização do *Índice de Saturação de Langelier*, no sentido de prover uma aproximação sistemática para a determinação do risco de formação de precipitados de carbonato de cálcio (CaCO_3). Esse índice é baseado na diferença entre o pH medido e o pH calculado da água utilizada, este último relacionado com os teores de carbonato (CO_3^{2-}) e bicarbonato (HCO_3^-), cálcio, concentração total de sais dissolvidos (SDT) e temperatura da água. Valores positivos indicam a possibilidade de ocorrência de formação de precipitados e a conseqüente obstrução de emissores (ESTADOS UNIDOS, 1965 apud RESENDE, 1999). Contraditoriamente, Capra e Scicolone (1998) estudaram o entupimento de emissores, em 21 sistemas instalados com microaspersão e gotejamento, na região meridional da Itália, e

observaram a redução no entupimento de emissores quando o valor do *Índice de Saturação de Langelier* aumentava.

Larson e Buswel (1942 apud SANTOS, 1995) publicaram um artigo com o intuito de melhor interpretar o *Índice de Saturação de Langelier* (1936). Os autores destacaram a importância do equilíbrio químico que envolve a solubilidade do carbonato de cálcio em várias situações relacionadas com a química da água, tais como as incrustações de chaleiras, telas de poços profundos, aquecedores de água, caldeiras, areia de filtros, hidrômetros e torneiras. Esses autores mostraram ainda a importância do CaCO_3 no equilíbrio químico do CO_2 , pois em várias condições reais, como durante a fotossíntese de lagos, o CO_2 foi utilizado para a produção orgânica de algas, causando a elevação do pH e precipitação de CaCO_3 . A aeração de águas de poços ou superficiais causa perdas de CO_2 . O emprego de coagulantes para o tratamento de água irá causar a mudança no CO_2 livre. A retenção de ar, devido a ocorrência negativa em meios granulares de filtros causa a liberação de CO_2 da água e muda as condições de equilíbrio. O tratamento utilizado para evitar a corrosão nas tubulações, seja pelo uso de cal, barrilha ou fosfatos, irá afetar o equilíbrio do CO_2 . A ação corrosiva da água altera este equilíbrio, devido a produção de íons hidroxila, os quais causarão a precipitação do CaCO_3 em águas com alta dureza e alcalinidade (SANTOS, 1995).

2.1.7 Entupimento por processos biológicos

O desenvolvimento de microrganismos no interior das instalações de irrigação, pode ser uma das causas de formação de obstruções, que se apresentam em qualquer ponto da rede, ainda que seu efeito mais prejudicial se produza nos emissores. Nesse fenômeno intervém a presença dos próprios microrganismos, além de outros fatores como qualidade (presença de Ca, CaCO_3 , MgCO_3 , Fe, O_2 e pH), temperatura da água, etc. (PIZARRO CABELLO, 1996).

Águas para irrigação provenientes de poços rasos frequentemente apresentam problemas de qualidade. Sagi; Paz e Ravina (1995) determinaram uma redução de vazão de gotejadores de 38 %, em relação à vazão inicial, em função da presença de mucilagem formada por colônias de protozoário (*Epystilys balanarum*). Houve uma redução de 57 % na área de passagem do emissor. Segundo os autores, o desenvolvimento de protozoários foi a maior causa de entupimento de emissores em Israel, no período de 1988 a 1990.

Estudando o efeito de diâmetros de orifício de descarga sobre a taxa de entupimento de microaspersores, Boman (1995) observou que 20 % dos emissores de 0,76 mm de diâmetro requereram limpeza, comparado a 14 % de 1,02 mm; 7 % de 1,27 mm e 5 % 1,52 mm de diâmetro. Neste estudo, 46 % dos casos de entupimento foram devidos a fitoplâncton; 34 % à obstrução por formigas e aranhas; 16 % à obstrução por lesmas e 4 % devido à obstrução física por partículas de areia e pedaços de PVC.

Cararo et al. (2006), estudando a ocorrência de entupimento em diferentes modelos de emissores utilizando água residuária, observaram que o entupimento parcial por formação de biofilme e acumulação de partículas nas paredes tortuosas do labirinto, foram os principais mecanismos responsáveis pelo entupimento de emissores utilizando água residuária. Os mesmos autores recomendam que as características desejáveis em um emissor sejam um caminho curto de labirinto e membrana com função auto-limpante, permitindo, assim, que o mesmo não seja tão susceptível aos problemas de entupimento com o uso de água residuária.

2.1.8 Entupimento de emissores e formas de prevenção

Gilbert, Nakayama e Bucks (1979) ressaltam que a longevidade dos sistemas de irrigação deve ser maximizada, para assegurar uma relação custo/benefício favorável. Se os emissores entopem após um curto período, os procedimentos de recuperação irão adicionar custos de manutenção ao sistema, podendo ser insuficientes em algumas circunstâncias.

Os métodos de prevenção do entupimento de emissores devem envolver tanto manejo do sistema (filtragem, inspeção de campo, lavagem de redes de distribuição), como medidas de tratamento químico da água. O processo de filtração isoladamente não é suficiente para prevenir o entupimento de emissores, mesmo utilizando-se filtro de areia. No tratamento químico, a cloração é o processo mais utilizado, para tratamento ou prevenção de causas biológicas. Para a prevenção ou tratamento de causas químicas tem-se a utilização de ácidos, nítrico, sulfúrico, clorídrico ou fosfórico (GILBERT; FORD, 1986).

Ravina et al. (1992), trabalhando com 12 gotejadores de diferentes tipos e marcas comerciais, determinaram que o nível de entupimento era similar tanto para filtragem à 80 mesh, como para à 120 mesh, sendo, no entanto, maior para a abertura de 40 mesh. Os autores também concluíram que as duas frequências de lavagens das redes laterais estudadas (semanal e

bisemanalmente) não afetaram o desempenho das laterais e que o tratamento com cloro a 10 mg L⁻¹, efetuados semanalmente ao fim da irrigação, reduziu o entupimento.

Gilbert, Nakayama e Bucks (1979) avaliaram diferentes tratamentos químicos para a prevenção do entupimento e concluíram que a injeção contínua de ácido sulfúrico, a uma concentração suficiente para manter o pH em 7,0, não foi tão eficiente quanto a combinação de cloração contínua e tratamento com ácido.

Silva Júnior et al. (2003) estudaram o potencial de obstrução de gotejadores submetidos à aplicação de águas comumente utilizadas em irrigação no Agropólo Assu-Mossoró no Rio Grande do Norte, e a eficiência da acidificação ou cloração na recuperação da uniformidade de emissão. Verificaram que houve efeito do tipo de água no desenvolvimento das obstruções, embora tal efeito possa ser amenizado com o tratamento preventivo. Quanto à recuperação dos emissores obstruídos, o tratamento pode ser eficiente, desde que ajustado adequadamente.

Testezlaf et al. (1994) utilizaram-se dos resultados do diagnóstico da qualidade de água de 17 propriedades agrícolas produtoras de hortaliças da região de Campinas – SP com o objetivo de avaliar a potencialidade destas propriedades optarem pelo sistema de irrigação por gotejamento em substituição à irrigação por aspersão. Os autores concluíram que as propriedades avaliadas possuem baixo potencial de entupimento dos emissores com relação aos aspectos físicos e biológicos das águas mas devido a alta concentração de ferro total detectadas nas amostras das águas consideraram como nível severo de risco de entupimento químico e verificaram que 51,9 % dos pontos amostrados apresentaram risco moderado de entupimento com relação a presença de manganês.

Com relação à utilização de emissores autolimpantes, Nakayama e Bucks (1991) ressaltam que, na prática, as membranas flexíveis utilizadas tendem a falhar com o tempo, como resultado da sua deterioração, em função dos vários produtos químicos adicionados ao sistema.

Teixeira (2006) estudando o efeito da dosagem de cloro e pH na vazão de gotejadores autocompensantes, observou que com a utilização de 100 mg L⁻¹ de cloro livre em condição dinâmica ocorreu um decréscimo de 10 a 20 % em média na vazão relativa (%) de alguns emissores. Foi encontrado em alguns modelos reduções de vazão de até 100 % em decorrência de aumento de volume da membrana do emissor de até 112 %. Não sendo observado variações acentuadas na vazão relativa (%), coeficiente de variação (%), uniformidade de distribuição (%) e grau de entupimento (%) para os tratamentos estáticos.

2.1.9 O processo de acidificação artificial da água

O tratamento com ácidos previne a formação de precipitados, dissolve os mesmos e melhora a eficiência da cloração, quando o produto utilizado na cloração não promove uma acidificação suficiente para baixar o pH da água para a faixa desejável, que fica em torno de 5,5 a 6,0 (PIZARRO CABELLO, 1996; SILVA JÚNIOR et al., 2003).

Deve-se aplicar ácido à água para tornar o *Índice de Saturação de Langelier* (ISL) negativo. Dessa forma, previne-se a formação de precipitados de carbonatos de cálcio e magnésio, fosfato de cálcio e de outras substâncias que podem ser dissolvidas com ácidos. Pode-se também adicionar ácido em concentrações maiores para que os precipitados, já formados sejam destruídos. No primeiro caso o tratamento é conhecido como preventivo e, no segundo, como tratamento de recuperação, de choque ou corretivo (LEITE, 1995).

Ayers e Westcot (1991) afirmam que uma das formas de reduzir a precipitação de carbonato de cálcio é a adição de materiais ácidos à água. Pizarro Cabello (1996) recomenda para o controle de obstruções oriundas de precipitados químicos, a utilização de ácido para reduzir o pH da água para 2,0 e depois aplicar água limpa sob pressão para posterior limpeza e arraste dos precipitados químicos das linhas gotejadoras.

Dentre os produtos utilizados, os mais comuns são o ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido clorídrico (HCl), ácido nítrico (HNO_3) e ácido fosfórico (H_3PO_4), com capacidade de acidificação decrescente, em função da menor dissociação.

Com o intuito de determinar a eficiência dos principais ácidos, na redução do pH da água de irrigação, Silva Júnior et al. (2000) coletaram águas de poços em pontos estratégicos na região de Mossoró-RN, os quais representavam a maioria das águas subterrâneas da Região. Para as quatro águas estudadas, ficou constatado que o ácido mais eficiente na acidificação da água foi o ácido sulfúrico. No entanto, é de difícil manejo em campo, pois eleva a temperatura da água. O menos eficiente foi o ácido fosfórico, que, além disso, quando adicionado à água provocou a formação de precipitados. Dessa forma, considerou-se no trabalho que os ácidos mais promissores no controle de obstruções, ou mesmo na acidificação da água, foram o nítrico e o clorídrico.

2.2.1 Material e Métodos

2.2.2 Localização do experimento

Os trabalhos foram conduzidos no Laboratório de Irrigação do Departamento de Engenharia Rural, da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, situada no município de Piracicaba-SP, cuja sede tem as seguintes coordenadas geográficas, 22° 42’ de latitude Sul e 47° 38’ de longitude Oeste de Greenwich, a uma altitude de 540m.

O trabalho foi estruturado em três fases. Na primeira avaliou-se a susceptibilidade dos gotejadores ao entupimento por precipitação do carbonato de cálcio e magnésio e sulfato de cálcio. Na segunda, avaliou-se a eficiência de diferentes ácidos na recuperação de emissores que apresentavam entupimento total ou parcial. Por fim, na terceira fase avaliou-se a susceptibilidade ao entupimento dos gotejadores recuperados com a utilização de diferentes fertilizantes comumente utilizados via fertirrigação e de água com um elevado fitoplâncton.

2.2.3 Descrição da bancada de ensaios

Para a condução dos diversos ensaios, construiu-se uma bancada em estrutura metálica, sendo composta por três andares, com 11,0 m de comprimento, 4,0 m de largura e 5,80 m de altura, sendo que cada andar da bancada é independente dos demais, permitindo a realização simultânea de ensaios. Os andares foram divididos em duas partes, sendo o segundo andar, local onde foi desenvolvida a pesquisa, composto por sete níveis, que por sua vez, possuíam dezesseis linhas, para avaliação dos gotejadores (Figura 1).

Para a condução da água e montagem das linhas de gotejadores do ensaio utilizou-se um registro de 2’ na linha principal e um registro de $\frac{3}{4}$ ’ na entrada de cada nível. As linhas gotejadoras foram unidas no início e ao final por registros de $\frac{1}{2}$ e conexões de PVC (Figura 1).

O sistema de motobomba utilizado nos ensaios foi composto por três motobombas centrífugas marca KSB, modelo KSB Megabloc 32-160. 1R (utilizada para aplicação de água em todo o sistema e lavagem das linhas laterais), KSB Hydrobloc C 1000 (aplicação dos tratamentos químicos) e KSB Hydrobloc C 500 (leitura de vazão, utilizando o medidor magnético de vazão).

A operacionalização do funcionamento da bancada, quanto ao horário de início e de parada, foi efetuada manualmente, obedecendo rigorosamente os horários de aplicação e leitura.

Na entrada de cada nível do primeiro andar da bancada foi instalada uma tomada de pressão, permitindo o ajuste da pressão a cada medição de vazão e, se necessário, ajustada àquela preestabelecida. Para a medição da pressão de serviço na entrada da linha de emissores foi utilizado um manômetro calibrado (peso morto) com faixa de leitura de 0 - 700 kPa.

Para diminuir a perda de solução por respingo fora da bancada, foram colocadas cortinas laterais, com intuito também de proteger a bancada contra corrosão e os operadores da mesma utilizaram vestimentas especiais para manuseio de ácidos e cloro durante os ensaios.

2.2.4 Modelos de gotejadores utilizados nos ensaios

Foram selecionados 26 diferentes modelos de gotejadores, convencionais e autocompensantes, existentes no mercado nacional e que são oriundos de diferentes países (Espanha, Israel, EUA e Brasil). Na Tabela 4 têm-se os nomes dos respectivos fabricantes, as características técnicas e a vazão mais comercializada no mercado nacional dos gotejadores utilizados. Os desenhos de todos os modelos de gotejadores utilizados na pesquisa constam no Anexo. Foram utilizados todos os modelos de gotejadores nos blocos, com o intuito de otimizar o uso da bancada, permitindo que em cada bloco fosse feito um tratamento com cada um dos *Índices de Saturação de Langelier*, fertilizantes e demais fatores envolvidos, possibilitando, assim, o desenvolvimento de diversos estudos simultaneamente.

Figura 1 – Montagem da bancada de ensaios contendo os diferentes modelos de emissores e registros com as mangueiras dos gotejadores já instalados

O número de gotejadores presentes na linha dependeu do espaçamento fornecido pelo fabricante, porém foi assegurado um número mínimo de 10 emissores para cada modelo analisado.

Tabela 4 - Características técnicas dos modelos (fluxo, vazão, diâmetro nominal de bocal ($\varnothing$ N), pressão de serviço e distância entre gotejadores (DEG) que foram utilizados nos ensaios)

Fabricante	Modelo	Fluxo	Vazão (L h⁻¹)	$\varnothing$ N (mm)	DEG (cm)
Naandan	Naan tif PC	AC	1,6	16	0,50
Naandan	Naan Paz	NC	2,0	16	0,75
Naandan	Naan PC	AC	2,1	16	0,80
Naandan	Naan PC	AC	3,8	16	0,90
Plastro	Hydrogol	NC	3,0	17	0,40
Netafin	Ram	AC	2,3	16	0,50
Netafin	Ram	AC	2,3	17	0,50
Plastro	Hydro Pc	AC	2,0	17	0,80
Plastro	Hydro Pc	AC	2,2	17	0,80
Plastro	Hydro Pc	AC	2,2	16/25	0,75
Plastro	Hydro Pc Nd	AC	2,35	16/40	0,80
Plastro	Hydro Drip	AC	2,0	16	0,80
Amanco	Carbo Drip	AC	2,0	17	0,80
Netafin	Tiran	NC	2,05	16	0,75
Irrimon	Twin Plus	AC	1,8	17,5	1,00
Irrimon	Vip Line	AC	3,6	16	1,00
Irrimon	Irridrip Plus	AC	2,5	16	1,00
Netafin	Super Typhoon	NC	2,0	16	0,60
Azud	Azudline	NC	1,4	17	0,50
Toro Ag	Drip In	AC	2,5	17	0,75
Petroísa	Petrodrip	NC	1,5	16	0,30
Amanco	Carbo Drip Cd/Ac	NC	2,2	16	0,50
Irrimon	Irriloc	AC	1,1	16,4	0,40
Queen Gil	Queen Gil	NC	0,5	16,5	0,10
Netafin	Drip Net	AC	1,6	16	0,75
Netafin	Uniran	AC	1,6	16	0,33

Em função dos emissores ensaiados serem produtos comerciais, eles foram codificados para evitar qualquer tipo de especulação comercial dos resultados apresentados, uma vez que os ensaios conduzidos não foram normalizados. Os números utilizados na codificação dos modelos de emissores (1, 2, 3...26) não têm nenhuma relação com os nomes comerciais dos produtos e tampouco com a sequência de emissores apresentados nos ensaios a seguir.

2.2.5 Medidas iniciais de vazões dos gotejadores novos

Todos os modelos de gotejadores utilizados nos ensaios foram previamente avaliados, operando na vazão de 150 ± 15 kPa. Todos os emissores utilizados apresentaram coeficiente de uniformidade de fabricação (CVf) < 12 %. Os dados operacionais relativos a cada modelo de emissor utilizado encontram-se nas Tabelas 5 a 8.

Tabela 5 - Vazão total, vazão média, desvio padrão ($\hat{s}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf) e uniformidade de distribuição (UD_{novo}) dos gotejadores novos do Bloco A (ISL= -2,268), medidas feitas com a utilização da água do sistema de abastecimento da ESALQ/USP

Fabricante	Modelo	Vazão total (L h ⁻¹)	Vazão média (L h ⁻¹)	$\hat{s}$	CVf (%)	UD_{novo} (%)
Naandan	Naan tif PC	11,74	1,17	0,03	2,78	96,72
Naandan	Naan Paz	22,13	2,21	0,04	1,61	98,07
Naandan	Naan PC	21,89	2,19	0,36	16,48	92,69
Naandan	Naan PC	40,09	4,01	0,11	2,73	96,77
Plastro	Hydrogol	29,85	2,99	0,20	6,72	93,73
Netafin	Ram	23,58	2,36	0,08	3,49	96,90
Netafin	Ram	21,12	2,11	0,06	2,61	97,22
Plastro	Hydro Pc	20,93	2,09	0,05	0,11	91,90
Plastro	Hydro Pc	21,47	2,15	0,11	5,15	94,55
Plastro	Hydro Pc	24,34	2,43	0,05	2,05	97,75
Plastro	Hydro Pc Nd	23,05	2,31	0,10	4,40	95,49
Plastro	Hydro Drip	23,24	2,32	0,09	3,76	95,86
Amanco	Carbo Drip	29,61	2,96	0,08	2,74	96,77
Netafin	Tiran	24,39	2,44	0,08	3,15	96,50
Irrimon	Twin Plus	18,13	1,81	0,05	2,49	97,34
Irrimon	Vip Line	33,33	3,33	0,28	8,30	92,16
Irrimon	Irridrip Plus	27,95	2,79	0,12	4,13	95,62
Netafin	Super Typhoon	23,67	2,37	0,14	5,73	93,46
Azud	Azudline	17,55	1,75	0,05	2,66	97,25
Toro Ag	Drip In	26,05	2,60	0,11	4,31	94,99
Petroísa	Petrodrip	16,97	1,70	0,05	3,07	96,93
Amanco	Carbo Drip Cd/Ac	23,23	2,32	0,08	3,63	95,44
Irrimon	Irriloc	12,46	1,25	0,05	3,92	94,88
Queen Gil	Queen Gil	5,42	0,54	0,03	4,66	93,85
Netafin	Drip Net	16,16	1,62	0,04	2,36	97,48
Netafin	Uniran	15,20	1,52	0,09	5,96	96,04

Tabela 6 - Vazão total, vazão média, desvio padrão ($\hat{s}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf) e uniformidade de distribuição (UD_{novo}) dos gotejadores novos do Bloco B ($ISL = 0,469$), medidas feitas com a utilização da água do sistema de abastecimento da ESALQ/USP

Fabricante	Modelo	Vazão total (L h ⁻¹)	Vazão média (L h ⁻¹)	$\hat{s}$	CVf (%)	UD_{novo} (%)
Naandan	Naan tif PC	11,43	1,14	0,04	3,61	96,12
Naandan	Naan Paz	21,86	2,19	0,03	1,24	98,55
Naandan	Naan PC	20,87	2,09	0,03	1,33	98,70
Naandan	Naan PC	38,98	3,90	0,11	2,90	96,57
Plastro	Hydrogol	30,43	3,04	0,13	4,37	95,47
Netafin	Ram	23,15	2,32	0,07	3,02	96,88
Netafin	Ram	22,56	2,26	0,15	6,79	95,52
Plastro	Hydro Pc	22,43	2,24	0,03	1,35	98,35
Plastro	Hydro Pc	21,69	2,17	0,07	3,23	96,93
Plastro	Hydro Pc	24,13	2,41	0,04	1,61	96,89
Plastro	Hydro Pc Nd	22,95	2,29	0,07	3,16	96,38
Plastro	Hydro Drip	23,50	2,35	0,04	1,64	98,43
Amanco	Carbo Drip	28,47	2,85	0,04	1,40	98,43
Netafin	Tiran	24,64	2,46	0,05	2,11	97,68
Irrimon	Twin Plus	18,15	1,81	0,08	4,33	95,49
Irrimon	Vip Line	33,34	3,33	0,39	11,82	86,36
Irrimon	Irridrip Plus	27,06	2,71	0,05	1,97	97,97
Netafin	Super Typhoon	22,82	2,28	0,10	4,20	94,98
Azud	Azudline	16,90	1,69	0,08	4,90	95,00
Toro Ag	Drip In	26,83	2,68	0,09	3,23	96,79
Petroísa	Petrodrip	16,72	1,67	0,06	3,81	97,01
Amanco	Carbo Drip Cd/Ac	23,13	2,31	0,08	3,47	96,06
Irrimon	Irriloc	12,77	1,28	0,02	1,48	98,31
Queen Gil	Queen Gil	5,33	0,53	0,03	5,06	94,80
Netafin	Drip Net	16,59	1,66	0,04	2,35	98,57
Netafin	Uniran	15,52	1,55	0,04	2,56	97,80

Para obtenção dos resultados de vazão das linhas gotejadoras em todos os ensaios, fez-se a leitura manual e a leitura com medidor magnético de vazão.

Durante a medição de vazão em cada gotejador foi cuidadosamente observada a não interferência de vazões provenientes de gotejadores adjacentes e, ou de pontos de conexão; para tanto, utilizou-se de barbantes para isolar a vazão de cada gotejador. Devido à diferença de espaçamento dos emissores por linha foram adotados e marcados permanentemente dez emissores de cada linha.

Tabela 7 - Vazão total, vazão média, desvio padrão ($\hat{s}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf) e uniformidade de distribuição (UD_{novo}) dos gotejadores novos do Bloco C (ISL= 1,156), medidas feitas com a utilização da água do sistema de abastecimento da ESALQ/USP

Fabricante	Modelo	Vazão total (L h ⁻¹)	Vazão média (L h ⁻¹)	$\hat{s}$	CVf	UD_{novo} (%)
Naandan	Naan tif PC	11,69	1,17	0,03	2,34	97,31
Naandan	Naan Paz	23,20	2,32	0,04	1,65	98,04
Naandan	Naan PC	20,66	2,07	0,04	1,97	97,94
Naandan	Naan PC	39,10	3,91	0,15	3,71	95,62
Plastro	Hydrogol	31,05	3,10	0,10	3,12	96,68
Netafin	Ram	23,80	2,38	0,07	2,77	96,95
Netafin	Ram	21,71	2,17	0,08	3,65	92,04
Plastro	Hydro Pc	20,92	2,09	0,11	5,45	95,18
Plastro	Hydro Pc	20,73	2,07	0,10	5,04	94,36
Plastro	Hydro Pc	23,61	2,36	0,06	2,50	97,64
Plastro	Hydro Pc Nd	22,23	2,22	0,20	9,13	90,20
Plastro	Hydro Drip	23,39	2,34	0,06	2,61	97,58
Amanco	Carbo Drip	28,26	2,83	0,05	1,71	98,07
Netafin	Tiran	25,09	2,51	0,06	2,20	97,66
Irrimon	Twin Plus	18,03	1,80	0,07	4,11	95,59
Irrimon	Vip Line	33,59	3,36	0,38	11,43	86,87
Irrimon	Irridrip Plus	27,34	2,73	0,05	1,65	98,14
Netafin	Super Typhoon	24,75	2,48	0,15	5,99	92,49
Azud	Azudline	16,97	1,70	0,08	4,93	95,00
Toro Ag	Drip In	27,39	2,74	0,07	2,58	96,86
Petroísa	Petrodrip	18,02	1,80	0,09	5,17	94,54
Amanco	Carbo Drip Cd/Ac	22,66	2,27	0,12	5,25	94,24
Irrimon	Irriloc	13,67	1,37	0,05	3,63	97,25
Queen Gil	Queen Gil	6,77	0,68	0,04	5,88	93,71
Netafin	Drip Net	15,25	1,52	0,05	3,42	96,52
Netafin	Uniran	15,46	1,55	0,06	4,01	95,97

O procedimento para a leitura de vazão da linha gotejadora consistiu-se da pressurização do sistema com estabilização em 150 kPa no início de cada linha mantendo-se todos os registros no início e final das linhas fechados, com exceção do registro no início da linha gotejadora a ser realizado a leitura. Feita a primeira leitura, fechava-se o registro e lia-se novamente, com todos os registros fechados para observar a vazão residual, após a estabilização do medidor magnético de vazão.

Tabela 8 - Vazão total, vazão média, desvio padrão ($\hat{s}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf) e uniformidade de distribuição (UD_{novo}) dos gotejadores novos do Bloco D ($ISL= 1,439$), medidas feitas com a utilização da água do sistema de abastecimento da ESALQ/USP

Fabricante	Modelo	Vazão total (L h ⁻¹)	Vazão média (L h ⁻¹)	$\hat{s}$	CVf	UD_{novo} (%)
Naandan	Naan tif PC	11,24	1,12	0,03	2,43	97,13
Naandan	Naan Paz	22,15	2,22	0,01	0,64	99,26
Naandan	Naan PC	20,27	2,03	0,06	3,19	96,75
Naandan	Naan PC	37,94	3,79	0,25	6,61	93,02
Plastro	Hydrogol	32,11	3,21	0,14	4,34	94,36
Netafin	Ram	23,09	2,31	0,04	1,62	98,05
Netafin	Ram	21,60	2,16	0,08	3,91	93,64
Plastro	Hydro Pc	21,04	2,10	0,10	4,69	95,19
Plastro	Hydro Pc	21,55	2,16	0,06	3,00	96,81
Plastro	Hydro Pc	22,92	2,29	0,08	3,43	96,99
Plastro	Hydro Pc Nd	21,83	2,18	0,09	3,98	95,95
Plastro	Hydro Drip	22,67	2,27	0,05	2,13	98,34
Amanco	Carbo Drip	28,17	2,82	0,03	1,01	98,91
Netafin	Tiran	24,86	2,49	0,12	4,72	96,94
Irrimon	Twin Plus	17,90	1,79	0,09	4,81	95,10
Irrimon	Vip Line	32,92	3,29	0,18	5,51	93,90
Irrimon	Irridrip Plus	27,54	2,75	0,05	1,75	97,57
Netafin	Super Typhoon	23,33	2,33	0,10	4,12	94,82
Azud	Azudline	17,16	1,72	0,06	3,71	96,55
Toro Ag	Drip In	26,54	2,65	0,10	3,86	95,63
Petroísa	Petrodrip	16,71	1,67	0,09	5,12	94,94
Amanco	Carbo Drip Cd/Ac	24,05	2,40	0,11	4,52	94,15
Irrimon	Irriloc	12,58	1,26	0,02	1,59	98,35
Queen Gil	Queen Gil	5,23	0,52	0,02	4,22	96,08
Netafin	Drip Net	15,70	1,57	0,05	2,90	96,49
Netafin	Uniran	15,35	1,54	0,03	1,77	97,89

Para os cálculos do coeficiente de variação de vazão, uniformidade de distribuição, grau de entupimento e vazão relativa foram utilizadas as eq. (2.1) a (2.8).

$$q_{\text{novo}} = \frac{P}{1000 t d} 60 \quad (2.1)$$

em que:

q_{novo} - vazão do gotejador novo (primeira leitura), L h⁻¹;

P - massa da água coletada, g;

t - tempo de coleta; min; e

d - densidade da água utilizada no ensaio, g L^{-1} (o valor médio utilizado para conversão da água para 25°C foi de 0,997).

$$q_{usado} = \frac{P}{1000td} \times 60 \quad (2.2)$$

em que:

q_{usado} - vazão do gotejador usado, L h^{-1} .

$$\bar{q}_{novo} = \frac{q_{linha}}{N} \quad (2.3)$$

em que:

$\bar{q}_{novo}$ - vazão média do gotejador novo (primeira leitura), L h^{-1} ;

q_{linha} - vazão da linha gotejadora, L h^{-1} ; e

N - número de emissores na linha.

$$CVf = \frac{s_{novo}}{\bar{q}_{novo}} 100 \quad (2.4)$$

em que:

CVf - coeficiente de variação da fabricação, %; e

s_{novo} - desvio padrão da vazão dos emissores novos (primeira leitura), L h^{-1} .

$$CVq = \frac{s_{usado}}{\bar{q}_{usado}} 100 \quad (2.5)$$

em que:

CVq - coeficiente de variação da vazão, %;

s_{usado} - desvio padrão da vazão dos gotejadores usados, L h^{-1} ; e

$\bar{q}_{usado}$ - vazão média do gotejador usado, L h^{-1} .

$$UD = \frac{q_{25\% \text{ usado}}}{q_{\text{média}}} 100 \quad (2.6)$$

UD - uniformidade de distribuição, %;

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

$q_{\text{média}}$ - vazão média, $L h^{-1}$.

$$GE = \left[1 - \frac{q_{\text{usado}}}{q_{\text{novo}}} \right] \times 100 \quad (2.7)$$

em que:

GE - grau de entupimento, %.

$$Qr = \left(\frac{Q_{x,y}}{Q_i} \right) \times 100 \quad (2.8)$$

em que:

Qr - vazão relativa, %;

$Q_{x,y}$ - vazão de um emissor X num dia Y de irrigação; e

Q_i - vazão desse emissor no primeiro dia de irrigação, $L h^{-1}$.

As soluções de carbonatos de cálcio e magnésio foram preparadas a partir dos resultados das análises da água (Tabelas 9 e 10).

Tabela 9 - Análise da água do lago artificial do campus da ESALQ/USP que foi utilizada no Ensaio 13

Parâmetro	Unidade	Resultado
$2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	mg L^{-1}	88,4
Cl^-	mg L^{-1}	19,0
N-NO_3	mg L^{-1}	0,6
SO_4^{2-}	mg L^{-1}	12,1
P	mg L^{-1}	0,14
Nitrogênio Amoniacal (N-NH_3)	mg L^{-1}	1,1
Na^+	mg L^{-1}	24,0
K^+	mg L^{-1}	6,3
Ca^{2+}	mg L^{-1}	17,5
Mg^{2+}	mg L^{-1}	3,7
Fe	mg L^{-1}	0,75
Cu	mg L^{-1}	0
Mn	mg L^{-1}	0,04
Zn	mg L^{-1}	0,17
Cor aparente	PtCo	230
Turbidez	FTU	48
Sedimentos em suspensão	mg L^{-1}	25
CE	mS cm^{-1}	0,18
pH	—	7,4
CO_2	mg L^{-1}	5,3
Acidez (CaCO_3)	mg L^{-1}	33
Dureza total (CaCO_3)*	mg L^{-1}	58,7
Coliformes totais/100mL	NMP/100mL	$1,3 \times 10^3$
Coliformes termotolerantes/100mL	NMP/100mL	$9,2 \times 10^2$

*Dureza total calculada com base no equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3), segundo Franson (1995): $2,497 [\text{Ca}, \text{mg L}^{-1}] + [\text{Mg}, \text{mg L}^{-1}]$. Franson, M.A.H. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, 19ª Edição, 1995. Metodologia para coliformes totais e coliformes termotolerantes foram tubos múltiplos de NMP de coliformes totais e termotolerantes do Standard Methods for the Examination of Water and wastewater.

Tabela 10 - Análise química da água utilizada para o preparo das soluções nos Ensaios 1 a 12

Análise da água do laboratório de irrigação - ESALQ/USP		
Parâmetro	Unidade	Resultado
$2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$	mg L^{-1}	49,0
Cl^-	mg L^{-1}	30,5
Na^+	mg L^{-1}	37,0
Ca^{2+}	mg L^{-1}	66,1
Mg^{2+}	mg L^{-1}	4,3
Fe	mg L^{-1}	0,08
CE	mS cm^{-1}	0,40
pH	—	7,4
CO_2	mg L^{-1}	3,1
Acidez (CaCO_3)	mg L^{-1}	8,2
Dureza total (CaCO_3)*	mg L^{-1}	182,7

*Dureza total calculada com base no equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3), segundo Franson (1995): $2,497 [\text{Ca}, \text{mg L}^{-1}] + [\text{Mg}, \text{mg L}^{-1}]$. Franson, M.A.H. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, 19ª Edição, 1995. Metodologia para coliformes totais e coliformes termotolerantes foram tubos múltiplos de NMP de coliformes totais e termotolerantes do Standard Methods for the Examination of Water and wastewater.

Diariamente foi feita a medida da temperatura e o pH da solução nos reservatórios utilizados para preparação das soluções. A temperatura da água utilizada variou de $25 \pm 4^\circ\text{C}$ durante o período de ensaios.

2.2.6 Descrição dos ensaios

Os dados da presente pesquisa foram coletados no período de outubro de 2005 a dezembro de 2006. **Primeira Fase:** a) Ensaios 1 e 2: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes por precipitados químicos de carbonatos de cálcio e magnésio; b) Ensaios 3 e 4: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com aplicação contínua por 12 h de HNO_3 ; c) Ensaio 5 e 6: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes com a utilização de sulfato de cálcio em solução; **Segunda Fase:** d) Ensaios 7 e 8: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com a utilização de HCl , HNO_3 e H_2SO_4 ; e) Ensaio 9 e 10: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com CO_2 ; **Terceira Fase:** f) Ensaio 11: Dinâmica do entupimento de gotejadores com a utilização de carbonato de potássio e posterior tratamento com

HNO₃; g) Ensaio 12: Dinâmica do entupimento de gotejadores com a utilização de superfosfato simples e posterior tratamento com HNO₃; h) Ensaio 13: Dinâmica do entupimento de gotejadores com a utilização de cal hidratada; i) Ensaio 14: Dinâmica do entupimento de gotejadores com água de elevado fitoplâncton e aplicação de cloro para desobstrução.

2.2.7 Primeira fase

2.2.7.1 Ensaios 1 e 2: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes por precipitados químicos de carbonato de cálcio e magnésio

Montaram-se quatro blocos denominados de A; B; C e D. Aplicaram-se águas com quatro *Índices de Saturação de Langelier* (ISL): ISL= -2,268; ISL= 0,469; ISL= 1,156 e ISL= 1,439, sendo que esses índices foram aplicados nos blocos A, B, C e D, respectivamente. Em cada bloco utilizou-se 26 modelos de gotejadores, desses 8 modelos eram convencionais (2, 5, 14, 18, 19, 21, 22 e 24) e 18 modelos eram autocompensantes (1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 18, 20, 23, 25 e 26), de diferentes marcas comerciais e fabricantes, totalizando 104 mangueiras.

Fez-se a medição inicial de vazão de todos os gotejadores novos. A pressão de serviço utilizada no experimento foi de 150 ± 15 kPa. Utilizou-se um manômetro para aferir a pressão de entrada na linha principal de bombeamento em cada nível da bancada e filtração da água em filtro de tela de 130 mesh da marca Amiad em todos os tratamentos (Figura 2)

Utilizou-se o método gravimétrico para a determinação do volume de água emitido por cada emissor (tempo de coleta de 10 minutos), expressando-se os valores de vazão em L h⁻¹.

A determinação da vazão dos emissores foi efetuada com frequência semanal, utilizando-se um medidor do tipo eletromagnético marca Conaut – Krohne modelo IFS 4000 W/6 com conversor de sinal modelo IFC 090 D e com faixa de leitura de 0-90 m³ h⁻¹ e precisão de 99 %.

Figura 2 - Detalhe do sistema de abastecimento da bancada, (A) caixas para o preparo das soluções; (B) sistema de condução da água e motobomba; (C) calha de captação da água; (D) entrada da linha de gotejadores e manômetro para aferição da pressão de serviço; (E) gotejadores marcados para leituras de vazões; e (F) filtro de disco de 130 mesh e medidor magnético de vazão

A água de abastecimento do laboratório utilizada no ensaio proveio do sistema de abastecimento da ESALQ/USP. Foi feito o monitoramento da água com a realização de análises químicas no início dos ensaios e a cada três meses foram repetidas (Tabelas 21 a 23, em anexo). Para o preparo e armazenamento da água para todos os ensaios, utilizou-se como recipientes caixas de fibro-cimento com capacidade de 1000 L, das quais a água era bombeada para o sistema de tubogotejadores. Após a preparação das águas com diferentes *Índices de Saturação Langelier*, as mesmas eram agitadas dentro das caixas com três micro-bombas submersas da marca Better, modelo B 500, com vazão de 340 L h⁻¹, garantindo, assim a recirculação da água dentro da caixa.

As águas utilizadas nos ensaios 1 e 2 foram preparadas mediante adição de solução de CaCO₃ e MgCO₃ à água proveniente de abastecimento da ESALQ/USP, de forma a se obter uma relação Ca:Mg de 1,7:1, que é a relação predominante nas principais fontes de água, disponíveis para irrigação no Nordeste brasileiro (MEDEIROS, 1992).

Adotou-se como critério a solubilidade máxima do carbonato de cálcio em água (66 mg L⁻¹). Com isso prepararam-se as seguintes percentagens de solubilidade do CaCO₃: a) Testemunha: água do laboratório de irrigação após acidificação para pH 5,5, com ISL de -2,268; b) 25 % da solubilidade o que forneceu um ISL de 0,469; c) 50 % da solubilidade o que forneceu um ISL de 1,156; e d) 100 % de solubilidade equivalente a um ISL de 1,439, solubilidade máxima do carbonato na água utilizada. Além da solubilidade máxima do carbonato de cálcio em água, considerou-se também, o limite máximo de pH de 8,84, pois nenhuma água observada na literatura nacional apresenta pH maior que este valor.

A água original do laboratório de irrigação possuía um ISL de 0,44 e pH de 7,5. Como esse já é um índice positivo e com risco de incrustações, adicionou-se à água uma solução de 3 mg L⁻¹ de hipoclorito de sódio (total de 20 mL) e 36 mL de HNO₃; ambos, para o preparo de 800 L de solução, com o objetivo de reduzir o ISL para um valor negativo, de forma que o pH final fosse 5,5.

Por falta de informações quanto à redução da vazão e formação das incrustações por precipitados químicos de cálcio e magnésio, foi feita leitura com medidor magnético de vazão a cada 72 h. Antes de aplicar as águas com diferentes *Índices de Saturação de Langelier*, ligou-se o sistema por vinte e quatro horas. Os ciclos foram de 12 h funcionando e 36 h descansando para cada tratamento. A cada dois ciclos fez-se a leitura com medidor magnético de vazão.

Inicialmente se adotou como limite de entupimento a redução de vazão de 25 %. Mesmo nas linhas que atingiram a porcentagem de entupimento fixada, continuou-se a abri-las por cerca de 30 minutos a cada ciclo, evitando assim o ressecamento e desprendimento dos precipitados, com posterior arraste no momento das leituras. O limite de redução de vazão de 25 % foi atingido apenas por alguns modelos de gotejadores utilizados nos ensaios.

Para o cálculo da porcentagem de entupimento dos emissores cujas leituras foram obtidas com o medidor magnético, fez-se um ensaio comparando-se as leituras manuais com as do medidor magnético de vazão e ajustou-se, por meio de regressão, as últimas as primeiras.

2.2.7.2 Ensaios 3 e 4: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com aplicação contínua de HNO_3 por 12 h

Durante a realização dos ensaios 1 e 2, observou-se que as respostas do índice $\text{ISL} = -2,268$ não seguia o padrão esperado, apresentando entupimento. Dessa forma, decidiu-se interromper esse tratamento e iniciar um novo ensaio. Como foi preciso limpar o sistema, foi feita a limpeza das mangueiras com a aplicação de ácido nítrico para reduzir o pH da água para 2, aplicando-se essa água por 12 h e deixando-se descansar por 12 h com os finais de linhas fechados. Posteriormente foram abertos os finais de linhas e aplicou-se água “limpa” por 20 minutos para remover possíveis sujeiras e, ou partículas de precipitados. Em seguida procedeu-se a primeira leitura manual das linhas gotejadoras. Observou-se que o resultado não foi satisfatório, aplicou-se novamente o mesmo procedimento de limpeza, só que dessa vez, deixou-se o sistema funcionando por 24 h, sendo que dessas 24 h, havia um repouso de 12 h entre uma aplicação e outra. Essa água foi aplicada com os finais de linhas fechados, ao final da aplicação da água a pH 2 abriram-se os finais de linhas e deixou-se passar água pela mangueira dos gotejadores por 20 minutos. O resultado apresentou-se mais satisfatório, porém observou-se uma redução da vazão para alguns gotejadores (Tabela 23 em anexo).

Este procedimento buscou simular a situação em campo onde muitos irrigantes antes de desligar o sistema ao final do período de irrigação, realizam a aplicação de uma dosagem elevada de ácido nítrico reduzindo o pH da água para a faixa de 2 a 3. Com o intuito de controlar possíveis problemas de entupimento, deixando a solução descansar nas linhas durante todo o período em que não é realizada irrigação, em torno de três meses (TEIXEIRA, 2006).

Após a aplicação desta solução conforme o tempo pré-determinado para cada tratamento, os reservatórios utilizados para aplicação da solução ácida foram higienizados para completa retirada de resíduos da solução de ácido nítrico. Após esse procedimento, utilizou-se os reservatórios para outras aplicações.

Após a lavagem das linhas, os registros no final de linha foram fechados e preparou-se uma solução de ácido nítrico com pH na faixa de 1,8 a 2,0. O procedimento para a aplicação da solução de ácido nítrico com pH na faixa de 1,8 a 2,0, consistiu-se da pressurização do sistema com estabilização da pressão em 150 kPa no início de cada linha, sendo que todos os finais de linha foram fechados.

O sistema de aplicação permitia a recirculação da solução aplicada conforme o seguinte esquema: reservatório → gotejadores → telha → calha → reservatório.

O procedimento para a leitura de vazão de cada uma das linhas gotejadoras utilizando-se o medidor magnético consistiu-se da pressurização do sistema com estabilização da pressão em 150 kPa no início de cada linha, sendo que todos os registros permaneciam fechados no final da linha lateral, permanecendo aberto somente o registro correspondente à linha na qual estava sendo realizada a leitura de vazão com o medidor magnético e assim, sucessivamente.

Ao final da aplicação, os registros eram fechados com o sistema ainda em funcionamento, para evitar retorno da solução para o reservatório, garantindo assim que a solução permanecesse em contato com toda a superfície interna da linha gotejadora. Para evitar uma perda acentuada da solução ao longo da semana, foram colocadas cortinas laterais na bancada de ensaio e sobre as caixas de tratamento.

Cálculos estequiométricos foram realizados para a determinação da dosagem de ácido nítrico a ser utilizada. Para efeito de monitoramento, foram coletados amostras de água dos gotejadores para determinar o pH da solução na linha gotejadora. Para o cálculo da dosagem de ácido nítrico 65 % p.a. foi feita uma curva de titulação.

2.2.7.3 Ensaios 5 e 6: Monitoramento da obstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com utilização de sulfato de cálcio em solução

Durante a condução dos ensaios, observou-se que mesmo para os tratamentos com ISL positivos, a velocidade de obstrução dos gotejadores era baixa, com isso, optou-se pela aplicação

de sulfato de cálcio (gesso) no tratamento que tinha sido utilizado com $ISL = -2,268$ e tratado para desobstrução com HNO_3 . Utilizou-se as mangueiras desse tratamento para se fazer um novo tratamento. A água de abastecimento do laboratório utilizada nos ensaios foi enriquecida com a adição de sulfato de cálcio, o que caracterizou o ensaio 5, que foi iniciado na 11ª aplicação dos ensaios 1 e 2. Passou-se a utilizar inicialmente 75 % da solubilidade do sulfato de cálcio, como forma de acelerar o processo de entupimento, para posteriores utilizações dos diferentes tratamentos previstos o qual denominamos de ensaio 5.

Após a passagem da água, que seguiu os mesmos padrões descritos anteriormente, para os diferentes ISL , verificou-se a influência causada pela precipitação química do sulfato de cálcio no CVf, no desvio padrão e na taxa de redução de vazão dos emissores originais e dos emissores obstruídos.

2.2.8 Segunda fase

Foram utilizados os ácidos clorídrico, nítrico e sulfúrico e gás carbônico para desobstruir os gotejadores.

Antes de iniciar o tratamento da água com os ácidos, foram feitas curvas de titulação com os mesmos, para determinar quanto de ácidos deveria ser adicionado para atingir o pH desejado. Agiu-se desta forma com o intuito de evitar desperdícios de ácido, prejuízos às culturas e melhorar a eficiência do tratamento. A água, após passar por meio dos gotejadores, foi recolhida por uma calha que a reconduzia ao tanque de captação, constituindo, assim, um sistema de recirculação de água.

2.2.8.1 Ensaios 7 e 8: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com a utilização de HCl , HNO_3 e H_2SO_4

Para os ensaios 7 e 8 os blocos foram distribuídos em: 1) bloco que recebeu o ácido H_2SO_4 tendo sido irrigado com $ISL = -2,268$; 2) bloco que recebeu o HCl tendo sido irrigado com $ISL = 0,469$; e 3) bloco que recebeu o HNO_3 tendo sido irrigado com $ISL = 1,156$.

Para cada bloco, composto por 26 linhas dos diferentes gotejadores, foi efetuado aplicações de ácidos de forma que o pH ficasse na faixa de 1,8 a 2,0. Efetuou-se doze aplicações nas linhas por cinco minutos, sempre com os finais fechados, e após a aplicação o sistema foi

desligado por uma hora com descanso da solução dentro da linha. Passado esse tempo, os finais de linha foram abertos e prosseguiu-se com a lavagem das linhas com água tratada proveniente do abastecimento do laboratório de irrigação da ESALQ/USP. Essa lavagem permanecia até a saída de água limpa ao final das linhas, o que se entendia como limpeza total das linhas gotejadoras, com arraste do carbonato. A cada três aplicações de ácidos e posterior lavagem com limpeza das linhas era feita uma leitura manual, totalizando ao final do experimento quatro leituras manuais e doze aplicações de ácidos.

As leituras de vazão foram feitas de forma manual, utilizando-se o mesmo procedimento dos ensaios 1 e 2. Os resultados dos parâmetros avaliados, obtidos após a aplicação de ácidos, foram comparados com aqueles referentes à última leitura de dados, obtida na primeira fase da pesquisa (ensaios 1 e 2).

2.2.8.2 Ensaios 9 e 10: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com CO₂

Para os ensaios 9 e 10 foi utilizado para a desobstrução dos gotejadores o dióxido de carbono, cujo bloco tinha sido irrigado com ISL= 1,439.

Para a aplicação do CO₂ utilizou-se um sistema de injeção desse gás na água de irrigação, o qual consistia em velas cerâmicas de filtro de água da marca *Pozzani* coladas em pares formando uma vela maior (Figura 3).

As velas foram imersas no fundo da caixa d'água de 1000 L, que estava conectada a um cilindro de CO₂. O gás era injetado com abertura do fluxímetro. O gás percorria uma mangueira de silicone que estava conectada as velas, formando assim, bolhas menores e com melhor distribuição por toda a caixa d'água. O gás era injetado até que o pH atingisse 5,0-6,5. O pH foi monitorado a cada 30 minutos, com o auxílio de um pH-metro.

Figura 3 - Detalhe do sistema de injeção de CO_2 : (A) velas conectadas umas nas outras; (B) sistema de distribuição do gás instalado no fundo da caixa d'água; (C) detalhes das velas que compunha o sistema de condução do gás; e (D) cilindro de CO_2 e fluxímetro acoplado ao cilindro

O CO_2 foi aplicado continuamente por 8 h sem descanso das soluções nas linhas dos gotejadores. Após a aplicação efetuou-se a leitura manual da vazão dos emissores. Sendo esse procedimento repetido 6 vezes, totalizando 6 leituras manuais.

Antes da aplicação do CO_2 deixou-se o bloco com $\text{ISL} = 1,439$ em repouso por 58 dias, período esse em que foi feito os tratamentos com ácidos nos demais blocos com seus respectivos *Índices de Saturação de Langelier*. Após esse tempo efetuou-se a leitura de vazão e iniciou-se a aplicação de CO_2 .

2.2.9 Terceira fase

Para a realização da terceira fase da pesquisa (Ensaio 11, 12, 13 e 14) utilizou-se o sistema montado para diferentes *Índices de Saturação de Langelier*, após tratamento com os diferentes ácidos (Ensaio de 1 a 10).

2.2.9.1 Ensaio 11: Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de carbonato de potássio e posterior tratamento com HNO_3

As soluções usadas para as irrigações foram preparadas mediante adição de carbonato de potássio à água proveniente do abastecimento da ESALQ/USP, de forma a se obter diferentes concentrações de 200, 300 e 400 mg L⁻¹. Para estabelecimento das concentrações, foi realizado um teste de solubilidade, para evitar a precipitação deste composto no fundo das caixas.

Quanto ao manejo das irrigações, adotou-se 12 h de funcionamento com 36 h de repouso; sendo efetuado leitura de vazão a cada três irrigações. No momento da leitura de vazão, era preparada uma nova solução, que dependia da concentração que se estava utilizando, sendo adotado duas repetições para cada concentração em uso. No final do experimento, quando as duas repetições de cada concentração foram aplicadas, totalizando 216 h de irrigação, continuou-se com as irrigações com 400 mg L⁻¹ durante mais 144 h, com leituras de vazão a intervalos de 72 h, e finalmente depois de 360 h de irrigação, totalizando oito leituras manuais de vazão, foi realizado o tratamento com ácido nítrico, que consistiu de quatro aplicações (leituras 9 a 12).

Na aplicação do ácido, inicialmente lavou-se as linhas com água deixando os finais de linhas abertos na pressão de serviço (150 kPa), em seguida aplicou a água acidificada a pH 2, realizando quatro aplicações durante dez minutos, com posterior aplicação de água durante 24 h. Após cada aplicação de ácido foi efetuada uma leitura manual. Ao final do experimento totalizou-se 456 h de funcionamento do sistema.

2.2.9.2 Ensaio 12: Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de superfosfato simples e posterior tratamento com HNO_3

Nesse ensaio avaliou-se a influência do superfosfato simples nos gotejadores aplicando-se água enriquecida, inicialmente, na concentração de 50 % da solubilidade (1ª leitura), e em seguida 75 (2ª leitura) e 100 % (3ª a 8ª leituras). As concentrações de 50 e 75 % foram aplicadas num total de 72 h, e a de 100 % num total de 248 h. Entretanto o tratamento com 100 % continuou até atingir 328 h de irrigação, quando se iniciou a aplicação de ácido ($\text{pH}=2$). A aplicação foi realizada com duração de 10 min, e em seguida, as linhas permaneciam em repouso durante uma hora e depois as mesmas eram lavadas, durante 24 h, com água limpa de abastecimento do laboratório de irrigação da ESALQ/USP.

As leituras de vazões eram efetuadas em intervalos semanais, após a sétima leitura houve a paralisação da irrigação por uma semana, simulando um possível manejo a ser dado ao sistema e para ver a reação dos emissores ao secamento das linhas. Após este intervalo as leituras foram realizadas quinzenalmente, continuando a aplicação de superfosfato simples a 100 % da solubilidade até a 8ª irrigação.

Para a aplicação de ácido, inicialmente lavou-se as mangueiras de gotejadores com água limpa e com os finais de linha abertos, em seguida utilizou-se o ácido baixando o pH da água para 2,0, realizando-se uma aplicação de 10 minutos cada, e posterior aplicação de água limpa durante 24 h o que caracterizou as irrigações de 9 a 12ª irrigação.

2.2.9.3 Ensaio 13: Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de cal hidratada

Avaliou-se a influência da utilização da cal hidratada no entupimento. Escolheu-se esse produto devido à ocorrência de problemas encontrados em campo pelos produtores, pois com a aplicação de ácidos para limpeza dos gotejadores, com o passar do tempo há uma acidificação do bulbo úmido onde se encontra o sistema radicular da planta, como forma de neutralizar essa acidez é feita a aplicação de cal. Testou-se a viabilidade de aplicação da cal nesses emissores, onde se aplicou água enriquecida, inicialmente, na concentração de 50 % da solubilidade (1ª leitura), e em seguida a 75 (2ª leitura) e 100 % (3ª a 8ª leitura). As concentrações de 50 e 75 %

foram aplicadas em um total de 72 h, e a de 100 % em um total de 432 h de operação do sistema, totalizando 100 dias.

As medições de vazões foram efetuadas em intervalos semanais até a sétima leitura e quinzenalmente a partir de então.

Para os ensaios em que foram feitas as aplicações de ácidos (Ensaio 11 e 12), lavou-se inicialmente as mangueiras de gotejadores com água, com os finais de linha abertos, em seguida utilizou-se o ácido baixando o pH da água para 2,0, realizando-se uma aplicação de dez minutos cada, e posterior aplicação de água durante 24 h o que caracterizou as irrigações de 9 a 11ª irrigação.

2.2.9.4 Ensaio 14: Dinâmica do entupimento de gotejadores com água de elevado fitoplâncton e aplicação de cloro para desobstrução

A água utilizada era bombeada de um lago artificial em frente ao Departamento de Ciências Exatas da ESALQ/USP, que possuía elevado fitoplâncton para um tanque de 1000 L onde era homogeneizada. A água aplicada retornava ao tanque, por meio de calhas, formando um sistema de recirculação. As irrigações ocorriam no período de 12 h, com descanso de 36 h, sendo efetuado leitura de vazão a cada duas irrigações; posteriormente era retirada toda a água existente no tanque de 1000 L, onde era bombeada novamente a água do lago para o reservatório para dar início a um novo ciclo.

O sistema funcionou por 528 h totalizando 15 semanas, sendo que da 9ª a 12ª irrigação foi destinada para o tratamento químico de recuperação e desobstrução das linhas, com aplicações de cloro. Foram feitas quatro aplicações de cloro a 150 mg L^{-1} , por 15 minutos, com repouso das linhas mantendo o produto no seu interior por uma hora e depois se aplicou água por 24 h para lavar o interior das linhas a uma pressão de 150 kPa.

2.3 Resultados e Discussão

2.3.1 Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais por precipitados químicos de carbonatos de cálcio e magnésio

Na Figura 4 têm-se a porcentagem de variação de vazão dos gotejadores considerando-se a vazão inicial (gotejadores novos) e a vazão após 360 h de irrigação, para os oito diferentes modelos de gotejadores nos quatros *Índices de Saturação de Langelier*.

De uma maneira geral, os gotejadores apresentam redução de vazão em função dos diferentes *Índices de Saturação de Langelier*, mesmo quando o ISL era negativo, com exceção do gotejadores 19 e 24 (Figura 4). A diminuição de vazão variou de 3,44 (gotejador 22 no ISL= 1,156) a 21,46% (gotejador 18 no ISL= 1,439).

De acordo com Medeiros et al. (2003), quando o sistema de irrigação está parado, há uma tendência de aumento do pH da água, o que diminui a solubilidade dos carbonatos e facilita a precipitação dos mesmos. Isso, explicaria a diminuição de vazão em alguns dos gotejadores com ISL= -2,268, mas não explica o aumento de vazão apresentado pelos gotejadores 19 e 24.

Figura 4 - Porcentagem de variação de vazão dos oito modelos de gotejadores convencionais nos diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

O coeficiente de variação após 360 h de funcionamento para os gotejadores 2, 5 e 18, no $ISL = -2,268$, foi menor do que o coeficiente inicial, o que se reflete numa maior uniformidade de distribuição (Tabela 11). Comportamento contrário foi observado nos demais gotejadores, para o mesmo índice, com destaque para o gotejador 24.

Adotando-se a classificação apresentada por Solomon (1979) pode-se enquadrar os gotejadores estudados como tendo uniformidade boa a inaceitável após as 360 h de irrigação, tendo em vista que o CV variou de 1,09 a 50,86 %.

Testezlaf e Campioni (1993) encontraram CVf médio de 2,8 % para o tubogotejador Queen Gil, com emissores tipo labirinto, espaçados 0,30m, indicando uma boa qualidade de fabricação. Para o mesmo tubogotejador, Schmidt (1995) encontrou CVf médio de 3,11 %. O CV encontrado para esse gotejador variou de 23,13 a 50,86 %, considerado de marginal a inaceitável segundo ABNT (1986), o que pode ter sido ocasionado pelo menor espaçamento dos emissores (0,10m) favorecendo o acúmulo de carbonatos (Tabela 11).

Tabela 11 – Vazão relativa (Qr) média após 360 h expressa em porcentagem, coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360h}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores convencionais após 360 h de irrigação com água de $ISL = -2,268$ do Bloco A

Número	Qr (%)	CVf	CV_{360h}	UD_{novo} (%)	UD_{360h} (%)
2	87,026	1,648	1,093	98,044	98,773
5	83,897	3,118	2,254	96,677	97,446
14	89,797	2,197	2,613	97,663	97,435
18	86,465	5,994	4,076	92,486	95,843
19	103,123	4,935	5,916	95,000	93,049
21	83,185	5,167	6,037	94,544	93,795
22	99,162	5,248	5,599	94,242	93,546
24	117,134	5,884	50,859	93,710	61,895

Analisando a Tabela 12 e comparando a vazão inicial e após 360 h de irrigação tem-se uma diminuição da vazão nos gotejadores 2, 5, 14, 18, 19, 21, 22 e 24 com reduções de 10,50; 12,83; 11,38; 10,96; 10,06; 8,38; 3,90 e 7,14 %, respectivamente. O modelo 22 foi o que menos sofreu redução de vazão, com melhora na UD_{360h} com as horas de funcionamento do sistema.

Quanto à uniformidade de distribuição, quase todos os modelos apresentaram UD_{360h} acima de 90 %, com exceção dos modelos 19 e 24. Quando se comparou a uniformidade de distribuição dos gotejadores novos e após 360 h de irrigação obteve-se uma variação de -0,28; -1,67; 0,43; 0,69; 6,43; 2,33; -0,92 e 6,41 % para os modelos de gotejadores 2, 5, 14, 18, 19, 21, 22 e 24, respectivamente.

O coeficiente de variação para os modelos citados anteriormente foi de -1,61; 45,08; -19,43; -13,57; -163,47; -113,12; 8,93 e -836,44 %, respectivamente. O modelo 24 teve novamente o pior resultado do CV após 360 h. De uma forma geral houve mais aumento do CV, sendo exceção os modelos 5 e 22.

Tabela 12 - Vazão relativa (Qr) média após 360 h expressa em porcentagem, coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360h}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores convencionais após 360 h de irrigação com água de ISL = 0,469 do Bloco B

Número	Qr (%)	CVf	CV_{360}	UD_{novo} (%)	UD_{360h} (%)
2	89,799	1,243	1,257	98,549	98,826
5	87,052	4,373	2,398	95,474	97,062
14	88,352	2,111	2,517	97,679	97,259
18	89,001	4,201	4,773	94,975	94,319
19	89,645	4,905	12,910	94,995	88,890
21	91,806	3,808	8,118	97,007	94,747
22	95,936	3,473	3,165	96,063	96,940
24	93,369	2,475	23,132	90,081	84,308

Com relação à Tabela 13, comparando a vazão inicial e após 360 h de irrigação observou-se que todos os modelos apresentaram diminuição da variação de vazão com o ISL= 1,156.

Quando se comparou a uniformidade de distribuição dos gotejadores novos e após 360 h de irrigação observou-se uma variação de -0,23; -3,34; -1,85; -4,25; 4,16; 4,04; 4,54; 37,17 % para os modelos de gotejadores 2, 5, 14, 18, 19, 21, 22 e 24, respectivamente. Já nos modelos 2, 5, 14 e 18 houve uma melhora na uniformidade de distribuição com o passar das horas de irrigação.

O coeficiente de variação para os modelos 2, 5, 14, 18, 19, 21, 22 e 24, no ISL= 1,156, foi de 9,32; 61,16; 40,32; 60,03; -124,81; -124,10; -128,10 e -843,99 %, respectivamente. Os modelos 19, 21, 22 e 24 tiveram seu coeficiente aumentado após 360 h de irrigação.

Tabela 13 - Vazão relativa (Qr) média após 360 h expressa em porcentagem, coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360h}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores convencionais após 360 h de irrigação com água de ISL= 1,156 do Bloco C

Número	Qr (%)	CVf	CV_{360}	UD_{novo} (%)	UD_{360h} (%)
2	85,721	1,610	1,456	98,065	98,298
5	87,538	6,716	2,607	93,734	96,855
14	88,356	3,145	1,879	96,502	98,087
18	86,481	5,734	2,286	93,465	97,427
19	83,362	2,665	5,980	97,248	93,197
21	88,686	3,074	6,878	96,929	93,015
22	96,427	3,629	8,276	95,441	91,112
24	93,911	4,662	43,992	93,846	58,967

De uma maneira geral o uso da água com diferentes ISL produziu o entupimento dos gotejadores utilizados, mas a porcentagem de entupimento foi muito variável (Figuras 5 a 7). Notou-se que o gotejador mais sensível aos diferentes índices foi o modelo 2, que apresentou as maiores porcentagens de entupimento. Já para o modelo 14 notou-se uma maior variação de entupimento com o ISL= 0,469, que ao final da 15ª irrigação, apresentava um entupimento mais elevado (17,70 %), seguido do ISL= 1,439 e do ISL= 1,156. Ainda com relação aos modelos 2 e 5, no modelo 2 observou-se uma tendência de aumento do entupimento com o passar das horas de irrigação, mas o gotejador 5 apresentou uma estabilização do entupimento variando de 11,87 a 15,27% nos ISL= 1,156 e 0,469, respectivamente, após a 9ª irrigação (Figura 5).

Figura 5 – Comportamento dos modelos de gotejadores convencionais 2, 5 e 14 após aplicação de água com diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

A porcentagem de variação de vazão inicial e após 360 h de irrigação para os gotejadores 2, 5, 14, 18, 19, 21, 22 e 24, no ISL= 1,439, foi de 14,41; 17,76; 10,04; 21,46; 11,63; 9,58; 5,00 e 0,00 %, respectivamente. Notou-se que o modelo 24 não sofreu redução de vazão (Tabela 14).

Quanto à uniformidade de distribuição, quase todos os modelos apresentaram valores acima de 90 %, com exceção dos modelos 18 e 24 com 65,67 e 84,31 %. Quando se comparou a uniformidade de distribuição dos gotejadores novos e após 360 h de irrigação notou-se uma variação de 0,74; -1,91; -1,23; 30,74; 3,10; -1,10; -0,21 e 12,25 % para os modelos de gotejadores 2, 5, 14, 18, 19, 21, 22, 24, respectivamente. O coeficiente de variação para os modelos citados anteriormente foram de -331,25; 6,45; 51,69; -912,38; -115,63; 16,02; -9,51; -448,10 %, respectivamente. O modelo 18 foi o mais prejudicado com ISL de 1,439, pois com as horas de funcionamento o seu CV tornou-se excessivamente elevado (Tabela 14). O modelo 5 mostrou uma discreta diminuição da porcentagem de variação entre o CVf novo e após 360 h de irrigação, com 6,45 %.

Tabela 14 - Vazão relativa (Qr) média após 360 h expressa em porcentagem, coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360h}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores convencionais após 360 h de irrigação com água de ISL = 1,439 do Bloco D

Número	Qr (%)	CVf	CV_{360}	UD_{novo} (%)	UD_{360h} (%)
2	85,688	0,645	2,758	99,256	97,308
5	82,155	4,336	4,063	94,362	96,155
14	89,903	4,720	2,276	96,941	98,132
18	78,268	4,123	41,711	94,816	65,675
19	88,403	3,708	8,003	96,546	93,563
21	90,604	5,116	4,301	94,943	95,981
22	94,927	4,524	4,946	94,149	94,351
24	99,618	4,220	23,132	96,083	84,308

Para os gotejadores 18 e 19, de uma maneira geral, houve aumento gradativo do entupimento, parecendo haver um limite de saturação, sendo que o modelo 18 atingiu a mais alta porcentagem de entupimento quando comparados aos modelos 19 e 21. O modelo 18, ao final da 15ª irrigação, apresentou um maior entupimento no ISL= 0,469, com 22,86 % de entupimento.

Para o modelo 19, o $ISL = 0,469$ foi o que mostrou ao longo das irrigações um maior entupimento com uma média de 13,41 %, contra 11,97 % ($ISL = 1,156$), 8,44 % ($ISL = -2,268$) e 11,68 % ($ISL = 1,439$).

Com relação ao modelo 21 observou-se a tendência que era esperada, onde o maior ISL seria o que apresentaria uma maior porcentagem de entupimento com médias de 6,67; 8,47; 8,93 e 10,70 % para os $ISL = -2,268$; 0,469; 1,156 e 1,439, respectivamente (Figura 6).

Para os modelos 22 e 24 (Figura 7), também de fabricantes distintos, observou-se um aumento do entupimento, mas em alguns momentos, houve também um aumento da vazão nos gotejadores. Para o gotejador 22 houve um menor entupimento no $ISL = 1,156$ com entupimento médio nas 15 irrigações de 2,86 % seguido dos $ISL = 0,469$; -2,268 e 1,439 com médias de 6,01; 4,89 e 6,24 %.

O modelo 24 apresentou uma menor porcentagem de entupimento no $ISL = 1,439$, pois nesse ISL observou-se um aumento de vazão nos gotejadores. A maior porcentagem de entupimento foi registrada no $ISL = 1,156$ com 24,38 %. O que corrobora com Ravina et al. (1992) trabalharam com emissores autocompensantes e convencionais e observaram aumento de vazão no início do processo de entupimento, em ambos os tipos de gotejadores. Cordeiro (2002) e Souza (2002) constataram aumento da vazão de gotejadores Netafin RAM 17 após dois anos de operação, o que alterou a uniformidade de distribuição de água do sistema. Souza; Cordeiro e Costa (2006) atribuíram que o aumento de vazão em gotejadores pode estar associado ao primeiro estágio de acumulação de material dentro do emissor, podendo alterar o regime de escoamento.

Figura 6 – Comportamento dos modelos de gotejadores convencionais 18, 19 e 21 após aplicação de água com diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

Figura 7 – Comportamento dos modelos de gotejadores convencionais 22 e 24 após aplicação de água com diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

De uma maneira geral esperava-se que com os ISL crescentes apresentaria uma tendência de entupimento crescente, mas não foi o observado. Especula-se que nos ISL mais elevados houve um maior acúmulo de carbonatos na malha de filtragem, tendo isso sido o responsável pelo total fechamento da malha de filtragem e a paralisação do funcionamento do sistema. A obstrução da malha de filtragem é ilustrada na Figura 8.

Figura 8 – Filtro utilizado na primeira fase do experimento com total obstrução por carbonatos (formação de “cake”)

2.3.2 Monitoramento de entupimento em gotejadores autocompensantes por precipitados químicos de carbonatos de cálcio e magnésio

As alterações na vazão dos gotejadores autocompensantes não seguiram um padrão bem definido em relação aos diferentes ISL utilizados, mas, para maioria deles, houve diminuição da vazão após a utilização de águas com diferentes ISL (Figuras 9 a 12), que não necessariamente estão relacionadas à precipitação de carbonatos de cálcio e magnésio. As variações observadas parecem indicar que fatores extrínsecos aos gotejadores e não apenas o ISL da água utilizada são os principais responsáveis pela performance dos emissores quando utilizados com águas potencialmente causadoras de entupimento por carbonatos.

Para o $ISL = -2,268$, observou-se que 17% dos 18 modelos autocompensantes tiveram aumento de vazão; já para os modelos submetidos aos tratamento do $ISL = 0,469$ esse percentual caiu para 11 % dos modelos autocompensantes, enquanto que os $ISL = 1,156$ e $1,439$ tiveram uma porcentagem de variação de vazão de 94,44 e 66,67 %, respectivamente. De uma maneira geral observou-se que o $ISL = 1,156$ provocou um aumento de vazão em quase todos os seus modelos.

Analisando-se o comportamento dos gotejadores com o $ISL = -2,268$, verificou-se que o gotejador que mais apresentou variação de vazão foi o de número 1, com diminuição de 24,58 %, seguido dos modelos 15 e 16 com 20,60 % e 17,77 %, respectivamente. Situação oposta, com aumento de vazão, foram os modelos de números 3, 4 e 25, com -0,54; -1,22 e -7,03 %, respectivamente (Figuras 9 a 12)

Com o $ISL = 0,469$ os modelos de gotejadores de números 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20 e 23 apresentaram diminuições da variação de vazão de 12,01; 3,45; 1,18; 3,00; 9,08; 8,39; 11,11; 7,89; 8,07; 13,45; 17,99; 7,44; 21,18; 7,05; 4,85 e 26,11 %, respectivamente. Por outro lado houve aumento da variação de vazão para os modelos 25 e 26 com -5,36 e -3,56 %.

Figura 9 - Porcentagem de variação de vazão dos modelos de gotejadores 1, 3, 4, 13 e 20 (autocompensantes) nos diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

Os modelos 6, 7, 25 e 26, de um mesmo fabricante, tiveram um maior aumento de vazão (Figura 10). Ainda com relação a esses modelos, observou-se uma redução da vazão de 9,56 % no $ISL = 1,156$, para o modelo 26 houveram aumentos de vazão nos $ISL = 0,469$ e $1,439$ com variações de -3,56 e -3,63 %, respectivamente e reduções de vazão de 0,60 e 3,18 % nos $ISL = -2,268$ e $1,156$ respectivamente. O modelo de gotejador 7 foi mais susceptível ao entupimento em todos os ISL com reduções de vazão de 6,70; 9,08; 1,67 e 2,45 % nos $ISL = -2,268$; $0,469$; $1,156$ e $1,439$, respectivamente.

Figura 10 - Porcentagem de variação de vazão dos modelos dos gotejadores 6, 7, 25 e 26 (autocompensantes) nos diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

No $ISL = 1,156$ notou-se um aumento da variação de vazão de -2,78 % no modelo 4, enquanto os outros modelos de gotejadores desse bloco tiveram sua variação de vazão diminuída, com valores de 22,73; 3,42; 2,08; 1,67; 6,51; 8,33; 6,28; 4,11; 20,49; 19,39; 6,61; 8,26; 6,93; 1,40; 3,35; 9,56 e 3,18 % para os gotejadores 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20, 23, 25 e 26, respectivamente.

Para os modelos 1, 3, 4, 13 e 20 (Figura 9), observou-se uma maior variação nos modelos 1 e 13, com reduções de vazão de 24,58 e 13,80 % para o $ISL = -2,268$. No $ISL = 0,469$ esses modelos apresentaram o mesmo comportamento, com valores de redução da vazão de 12,00 e 17,98 %, respectivamente. Nesse *Índice de Saturação de Langelier* o modelo 13 mostrou-se mais susceptível ao entupimento quando comparado com o ISL negativo. No $ISL = 1,156$, o modelo 4 teve sua vazão aumentada em -2,78 %. No $ISL = 1,439$ esse mesmo comportamento foi observado nos modelos 3 e 4 com aumento da porcentagem de variação de vazão de -2,76 e -4,00 %. Os demais modelos sofreram redução da porcentagem de variação entre 1,18 e 24,58 %.

Os modelos de gotejadores 8, 9, 10, 11 e 12, de um mesmo fabricante, tiveram em todos os índices diminuição da vazão, o que demonstra sensibilidade ao entupimento, sendo observado um maior entupimento no modelo 12 com redução de 15,96 % no $ISL = -2,268$. Já para o $ISL = 0,469$ uma redução de 13,45 % foi observada no modelo 12, que com o $ISL = 1,156$ apresentou uma maior redução de vazão (20,49 %) (Figura 11).

Figura 11 - Porcentagem de variação de vazão dos modelos dos gotejadores 8, 9, 10, 11 e 12 (autocompensantes) nos diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

A Figura 12 representa os gotejadores 15, 16, 17 e 23 que tiveram uma maior de variação de vazão, com redução de 20,60 % para o modelo 15 no ISL= -2,268. Os modelos 16 e 23 apresentaram uma maior redução de vazão (21,18 e 26,10 %) no ISL= 0,469, sendo que esses mesmos modelos apresentaram redução de 8,26 e 3,35 % no ISL= 1,156 e de 9,70 e 26,17 % no ISL= 1,439, respectivamente. No modelo 17 houve uma maior redução de vazão no ISL= -2,268, com porcentagem de variação de vazão de 9,03 %. Esse modelo apresentou um menor entupimento no maior ISL, o que pode ter ocorrido devido a um maior aumento da vazão, resultante do acúmulo de precipitados nos mecanismos de compensação, que no caso em questão, são as membranas.

Figura 12 - Porcentagem de variação de vazão dos modelos de gotejadores (15, 16, 17 e 23) autocompensantes nos diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

Analisando-se a Tabela 15 e comparando-se a vazão inicial e após 360 h de irrigação observa-se uma diminuição da vazão na maioria dos gotejadores analisados com exceção dos modelos 3, 4 e 25 que apresentaram comportamento contrário, com aumento de 0,54 e 1,22 e 7,03, respectivamente. Para os modelos 1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20, 23 e 26 as reduções foram de 24,58; 1,86; 6,70; 8,42; 5,65; 4,77; 8,18; 15,96; 13,80; 20,60; 17,77; 9,03; 4,04; 11,84 e 0,60 %, respectivamente.

Quanto à uniformidade de distribuição, quase todos os modelos apresentaram valores acima de 90 %, com exceção dos modelos 1, 11 e 16 em que os valores foram 77,16; 88,68 e 81,44 %, respectivamente. Quando se comparou a uniformidade de distribuição dos gotejadores novos e após 360 h de irrigação notou-se uma variação de 20,71; 2,66; -0,04; 3,82; -6,05; -0,64; 0,04; 0,82; 3,67; 1,35; 3,91; 4,93; 6,25; 6,73; 0,52; 2,77; 1,47 e 0,29 % para os modelos de gotejadores 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20, 23, 25 e 26 (Tabela 13).

Quando se analisou a UD_{360h} dos gotejadores se observou uma melhora na mesma, o que pode ser visto nos modelos 4, 7 e 8 que tiveram os seguintes valores de porcentagem de variação da UD -0,04; -6,05 e -0,64 %, respectivamente.

A diferença percentual no coeficiente de variação para os modelos citados anteriormente foram -907,78; -107,91; -3,84; -123,18; 25,79; -1,86; -5,25; -29,72; -60,83; -8,99; -199,36; -112,38; -37,87; -321,86; -15,49; -201,93; -94,79 e -66,24, respectivamente. Os modelos que mais

sofreram aumento de vazão foram: 1, 3, 6, 13, 15, 17 e 23, com variação do coeficiente acima de 100 %.

Tabela 15 - Vazão relativa (Qr) média após 360 h expressa em porcentagem, coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360h}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores convencionais após 360 h de irrigação com água de ISL = - 2,268

Número	Qr (%)	CVf	CV_{360}	UD_{novo} (%)	UD_{360h} (%)
1	75,364	2,336	23,542	97,308	77,157
3	100,532	1,966	4,087	97,939	95,329
4	101,228	3,711	3,854	95,618	95,654
6	98,151	2,770	6,182	96,952	93,246
7	93,275	3,651	2,709	92,040	97,612
8	91,587	5,451	5,552	95,184	95,795
9	94,356	5,038	5,302	94,363	94,326
10	95,214	2,498	3,240	97,636	96,837
11	91,809	7,057	11,350	92,058	88,679
12	84,053	2,606	2,840	97,580	96,264
13	86,200	1,714	5,132	98,069	94,230
15	79,368	4,113	8,736	95,593	90,883
16	82,227	11,428	15,755	86,868	81,440
17	90,966	1,652	6,968	98,143	91,542
20	95,984	2,580	2,979	96,858	96,354
23	88,149	3,631	10,962	97,248	94,557
25	107,016	3,425	6,671	96,524	95,106
26	99,418	4,012	6,669	95,970	95,690

Comparando-se a vazão inicial e após 360 h de irrigação notou-se um aumento da vazão dos modelos 25 e 26, com variações de -5,36 e -3,56 %, respectivamente (Tabela 16). Os modelos de emissores 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20 e 23, apresentaram as seguintes variações de vazão 12,01; 3,45; 1,18; 3,00; 9,08; 8,39; 11,11; 7,89; 8,07; 13,45; 17,99; 7,44; 21,18; 7,05; 4,85 e 26,11 %, respectivamente.

Quanto à uniformidade de distribuição, quase todos os modelos apresentaram valores acima de 91 %, sendo exceção o modelo 16, com 86,80 % de UD_{360h} . Quando se comparou a uniformidade de distribuição dos gotejadores novos e após 360 h de irrigação obteve-se uma variação de -0,90; 2,84; 0,34; -0,96; -2,46; 1,76; 0,52; -0,70; 0,85; -0,62; -0,08; -0,16; -0,51; 5,96; 1,91; 35,21; 2,62 e 3,44 %, para os modelos de gotejadores 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15,

16, 17, 20, 23, 25 e 26, respectivamente. Ainda com relação à UD_{360h} , observou-se uma pior uniformidade de distribuição no modelo 23.

O coeficiente de variação para os modelos 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20, 23, 25 e 26 foi de 16,17; -218,92; -6,27; 23,75; 31,98; -232,87; -10,40; 33,28; -37,81; 45,33; -8,01; 11,76; -8,76; -229,16; -36,26; -2966,03; -189,45 e -288,02 %, respectivamente (Tabela 16).

Tabela 16 - Vazão relativa (Qr) média após 360 h expressa em porcentagem, coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360h}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores convencionais após 360 h de irrigação com água de ISL = 0,469

Número	Qr (%)	CVf	CV_{360}	UD_{novo} (%)	UD_{360h} (%)
1	87,927	3,610	3,027	96,123	96,985
3	96,550	1,326	4,229	98,702	95,901
4	98,820	2,898	3,080	96,567	96,235
6	97,019	3,024	2,306	96,880	97,813
7	90,913	6,795	4,622	93,306	95,605
8	91,618	1,351	4,496	98,348	96,613
9	88,889	3,231	3,567	96,930	96,430
10	92,128	2,636	1,759	97,375	98,061
11	91,895	3,162	4,358	96,384	95,564
12	86,553	1,639	0,896	98,431	99,046
13	82,016	1,399	1,511	98,431	98,512
15	92,562	4,325	3,816	95,491	95,647
16	78,824	11,824	12,859	86,357	86,799
17	92,942	1,971	6,487	97,973	92,137
20	95,155	3,226	4,396	96,789	94,941
23	73,906	1,548	47,448	98,212	63,629
25	105,354	2,637	7,631	96,827	94,293
26	103,513	1,603	6,218	98,185	94,808

Comparando-se a vazão inicial e após 360 h de irrigação dos gotejadores autocompensantes no ISL= 1,156 observa-se que houve uma diminuição em quase todos os modelos, com exceção do modelo 4, que apresentou aumento da porcentagem de variação de vazão de 2,78 % (Tabela 17). Para os modelos 1, 3, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20, 23, 25 e 26, observaram-se as seguintes porcentagens de diminuição da variação de vazão 22,73; 3,42; 2,08; 1,67; 6,51; 8,33; 6,28; 4,11; 20,49; 19,39; 6,61; 8,26; 6,93; 1,40; 3,35; 9,56 e 3,18 %, respectivamente.

Tabela 17 - Vazão relativa (Qr) média após 360 h expressa em porcentagem, coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360h}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores convencionais após 360 h de irrigação com água de ISL = 1,156

Número	Qr (%)	CVf	CV_{360}	UD_{novo} (%)	UD_{360h} (%)
1	77,257	2,784	7,345	96,720	91,951
3	96,574	16,476	11,641	92,689	91,874
4	102,769	2,733	7,110	96,768	93,107
6	97,922	3,486	7,122	96,900	92,114
7	98,295	2,612	3,019	97,217	97,002
8	93,502	2,454	2,852	97,521	97,359
9	91,709	5,154	4,405	94,546	95,572
10	93,714	2,047	3,044	97,752	97,178
11	95,879	4,403	4,185	95,489	96,122
12	79,518	3,763	21,771	95,859	81,805
13	80,615	2,739	1,392	96,767	98,346
15	93,381	2,487	3,157	97,337	96,637
16	91,749	8,302	9,786	92,159	89,493
17	93,059	4,127	6,501	95,619	93,420
20	98,580	4,310	4,840	94,992	94,381
23	96,709	3,918	15,389	94,880	92,929
25	90,470	2,357	43,966	97,478	63,724
26	96,842	5,958	8,989	96,042	91,701

Quanto à uniformidade de distribuição, os modelos apresentaram UD_{360h} acima de 80 %, com exceção do modelo 25 que apresentou UD_{360h} de 63,72 %. Esse modelo quase sempre apresentou uma ótima UD, porém parece que o ISL= 1,156 influenciou negativamente nesse modelo de gotejador. Quando se comparou a uniformidade de distribuição dos gotejadores novos e após 360 h de irrigação observou-se aumento na UD_{360h} com melhoras de: 1,09; 0,66 % e 1,63 % para os modelos de gotejadores 9, 11 e 13, respectivamente. Ainda com relação à UD, houve uma piora com aumento da variação nos modelos 1, 3, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 16, 17, 20, 23, 25 e 26 que apresentaram os seguintes valores 4,93; 0,88; 3,78; 4,94; 0,22; 0,17; 0,59; 14,66; 0,72; 2,89; 2,30; 0,64; 2,06; 34,63 e 4,52 %, respectivamente (Tabela 17).

O coeficiente de variação segue a mesma tendência do UD_{360h} , sendo suas porcentagens de variação de vazão de -163,86; -160,13; -104,32; -15,57; -16,22; -48,74; -478,60; -26,96; -17,86; -57,54; -12,30; -292; 74; -1765,17 e -50,88 % para os modelos 1, 4, 6, 7, 8, 10, 12, 15, 16, 17, 20, 23, 25 e 26, respectivamente. Os emissores que apresentaram comportamento

diferenciado foram os modelos 3, 9, 11 e 13, com aumento de 29,35; 14,53; 4,96 e 49,18 %, respectivamente. Observou-se que o modelo de emissor 25 foi o mais sensível ao ISL= 1,156, seguido dos modelos 12, 23, 1 e 6 que apresentaram CV 360 h pelo menos duas vezes maior que o CVf (Tabela 17).

Com relação ao ISL= 1,439 observou-se um aumento da vazão na maioria dos gotejadores analisados com exceção dos gotejadores 3, 4, 6, 25 e 26 com aumentos de -2,77; -4,01; -6,56; -5,29 e -3,63 %, respectivamente. Já para os modelos 1, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20 e 23 houve reduções de 7,90; 2,46; 10,63; 14,71; 1,71; 1,20; 11,69; 15,28; 8,21; 9,70; 4,49; 2,74 e 26,17 %, respectivamente (Tabela 18).

Quanto à uniformidade de distribuição no ISL= 1,439 quase todos os modelos apresentaram UD_{360} acima de 94 %, com exceção do modelo 23 que apresentou 63,63 %. Quando se comparou a uniformidade de distribuição dos gotejadores novos e após 360 h de irrigação notou-se uma variação de -0,38; -0,40; -4,81; 4,38; -1,78; 0,28; 1,19; 1,74; -0,96; -0,08; 0,08; 1,41; 1,77; 1,88; -0,06; 35,30; 2,27 e 3 15 % para os modelos de gotejadores 1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 17, 20, 23, 25 e 26, respectivamente (Tabela 18).

O coeficiente de variação apresentou aumentos de -309,91; -65,96; -35,99; -26,75; -9,41; -21,10; -46,86; -112,00; -3,07; -2881,18; -162,94; -251,69 % para os modelos 6, 7, 9, 10, 13, 15, 16, 17, 20, 23, 25 e 26, respectivamente. Observou-se que os emissores que apresentaram diminuição foram os modelos 1, 3, 4, 8, 11 e 12 com valores de 1,86; 16,74; 68,89; 4,11; 19,16 e 11,05 %, respectivamente. Notou-se que os modelos de emissores 23 e 6 foram, os mais sensíveis ao ISL= 1,439, com uma alta porcentagem do coeficiente de variação (Tabela 18).

Observou-se nas Tabelas 15 a 18 vazões superiores à nominal do emissor, ou seja, um efeito inverso ao normalmente esperado para as fontes causadoras de entupimento. Situação semelhante também foi observada por Vilela; Resende e Soares (2001), num estudo de simulação de entrada de particulados sólidos na malha hidráulica. Eles constataram aumento de vazão de até 33 % para emissor autocompensante, quando utilizado solo arenoso na simulação. A deposição de material na região de assentamento da membrana responsável pela característica da compensação de vazão foi a hipótese utilizada para explicar o fato observado. No presente estudo pode ter sido devido à precipitação do carbonato de cálcio e magnésio nesses emissores.

Tabela 18 - Vazão relativa (Qr) média após 360 h expressa em porcentagem, coeficiente de variação de fabricação (CVf), coeficiente de variação após 360 h (CV_{360h}), uniformidade de distribuição novo (UD_{novo}) e uniformidade de distribuição (UD_{360h}) dos gotejadores convencionais após 360 h de irrigação com água de ISL = 1,439

Número	Qr (%)	CVf	CV_{360}	UD_{novo} (%)	UD_{360h} (%)
1	92,082	2,434	2,388	97,132	97,498
3	102,763	3,191	2,657	96,754	97,143
4	104,006	6,610	2,057	93,015	97,488
6	106,540	1,620	6,641	98,055	93,761
7	97,546	3,907	6,485	93,641	95,312
8	89,354	4,687	4,495	95,189	94,924
9	85,290	2,999	4,079	96,806	95,655
10	98,255	3,427	4,344	96,991	95,303
11	98,809	3,985	3,221	95,952	96,872
12	88,311	2,132	1,897	98,344	98,426
13	84,700	1,012	1,107	98,909	98,832
15	91,788	4,811	5,826	95,103	93,761
16	90,310	5,505	8,085	93,902	92,242
17	95,534	1,751	3,713	97,566	95,736
20	97,249	3,856	3,974	95,633	95,687
23	73,847	1,592	47,448	98,352	63,629
25	105,287	2,902	7,631	96,486	94,293
26	103,648	1,768	6,218	97,890	94,808

O aumento de vazão observado nos modelos autocompensantes corrobora com as observações de Koegelenberg e Reinders (2002), que trabalhando com sistemas de irrigação por gotejamento na África do Sul, constataram uma tendência geral de aumento de vazão, sendo este aumento atribuído pelos autores aos sedimentos que aderiram entre a membrana de compensação e o labirinto, resultando em um regulamento ineficaz da vazão.

Para a maioria dos modelos de gotejadores a variação nos ISL serviu para aumentar a porcentagem de variação do CV após 360 h de irrigação.

Na Figura 15 tem-se o comportamento dos modelos 1, 3 e 4, pertencentes a um mesmo fabricante. O modelo 1 não apresentou aumento de vazão, sendo o ISL= 1,156 o índice que mais obstruiu, com porcentagem de entupimento de até 32 %. Para o modelo 3 observou-se um aumento de vazão com o ISL negativo, com aumento da porcentagem de entupimento de até 7,40 %. O maior pico da porcentagem de entupimento foi observado no ISL= 1,439 com 11,97 %. No modelo 4 notou-se uma maior porcentagem de entupimento nos ISL= 1,439 e 0,469 com

Figura 13 – Comportamento dos modelos de gotejadores autocompensantes 1, 3 e 4 após aplicação de água com diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

médias da porcentagem de entupimento de 4,60 e 2,92 %, respectivamente. Neste modelo observou-se uma maior porcentagem de entupimento no maior ISL (Figura 13).

O modelo 6 teve uma maior porcentagem de entupimento no ISL negativo com média de 4,12 %, seguido do ISL= 1,156 com 3,25 % e ISL= 1,439 com 3,18 % (Figura 14). Já o modelo 7 teve uma menor porcentagem de entupimento para o maior ISL, com média de 1,49 %, notando-se também um aumento de vazão na 14ª irrigação. A maior porcentagem de entupimento foi observada no ISL= 0,469, com média de 6,89 %. No modelo 8 não se observou aumento de vazão, mas uma maior porcentagem de entupimento no ISL= 1,439 e 0,469 com 12,75 e 11,76 %, respectivamente (Figura 14).

O modelo 9 teve um maior entupimento no ISL 0,469, com média de 9,48 %, seguido dos ISL= 1,439; 1,156 e -2,268 com porcentagem de entupimento de 9,22; 7,61 e 5,56 %, respectivamente. Era esperado que o maior ISL obstruísse mais, porém não foi o que ocorreu. Ao final da 15ª irrigação os ISL= 1,439; 1,156; 0,469 e -2,268 apresentaram as seguintes porcentagens de entupimento 14,70; 12,86; 18,30 e 8,60, respectivamente (Figura 15).

O modelo 10 apresentou as seguintes médias de porcentagem de entupimento 6,86; 8,99; 2,80 e 3,78 % para os ISL= 0,469; 1,156; 1,439 e -2,268, notou-se que o ISL que menos influenciou na obstrução desse modelo foi o de ISL mais alto (Figura 15).

Já o modelo 11 apresentou aumento de vazão na maioria das leituras do ISL mais alto, atingindo até uma porcentagem de entupimento de -3,30 % e com média de vazão de 0,41 %. Para os ISL= 1,156; 0,469 e -2,268 tiveram as seguintes médias de porcentagem de entupimento na 15ª irrigação 7,79; 7,11 e 7,15. Neste modelo o ISL que mais influenciou na obstrução foi o 1,156 (Figura 15).

Os modelos de gotejadores 12, 13 e 15 não apresentaram aumento de vazão. No modelo 12 o ISL que mais causou entupimento foi o 0,469, com média das 15 leituras de 15,81 %, seguido dos ISL= 1,156 com 14,81 %; 1,439 com 14,60 % e por fim -2,268 com 11,90 %.

O modelo 13 apresentou os seguintes entupimentos 15,79; 13,82; 15,37 e 16,09 %, para os ISL= 0,469; 1,156; 1,439 e -2,268, respectivamente. Ao final da 15ª irrigação o ISL= 1,156 foi o que produziu maior entupimento (20,10 %), seguido do 1,439 com 18,90 %, do 0,469 com 17,30 % e do -2,268 com 17,50 %.

Figura 14 – Comportamento dos modelos de gotejadores autocompensantes 6, 7 e 8 após aplicação de água com diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

Figura 15 – Comportamento dos modelos de gotejadores 9, 10 e 11 autocompensantes após aplicação de água com diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

O modelo 15 teve as seguintes médias de entupimento 1,37; 6,83; 11,27 e 9,74 % para os $ISL = 0,469$; 1,156; 1,439 e -2,268. Com o $ISL = 0,469$ o modelo sofreu aumento de vazão em algumas leituras, o que fez com que a sua porcentagem de entupimento diminuísse. Um fato interessante é que à medida que as irrigações foram realizadas a porcentagem de entupimento diminuía o que pode ser atribuído a uma tendência ao aumento de vazão, associada à influência dos carbonatos no mecanismo de compensação (Figura 16).

Figura 16 – Comportamento dos modelos de gotejadores autocompensantes 12, 13 e 15 após aplicação de água com diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

Nos modelos 16 e 17, pertencentes a um mesmo fabricante, não houve aumento de vazão para nenhum dos ISL. O modelo 16 atingiu 14,20 % de entupimento no ISL= 1,156; já o maior ISL= 1,439 atingiu no máximo 9,08 % de entupimento (Figura 17).

No modelo 17 observou-se um maior aumento do entupimento no ISL= 1,439 com média das 15 irrigações de 22,80 %. As médias das 15 irrigações no entupimento foram 12,70; 7,74; 2,32 e 12,90 % para os ISL= 0,469; 1,156; -2,268 e 1,439, respectivamente.

O modelo 20 apresentou aumento de vazão no ISL negativo. O ISL que mais causou obstrução foi o 1,156 com média de entupimento de 5,39 % seguido dos ISL= 0,469; -2,268 e 1,439 com 4,58; 0,48 e 4,50 %, respectivamente (Figura 17).

O modelo 23 não apresentou aumento de vazão para nenhum dos ISL. A maior porcentagem de entupimento foi observada no ISL= 1,439 com 17,82 %, seguido dos ISL= 1,156 e 0,469 com 16,34 e 15,15 %, respectivamente. As médias de entupimento das 15 irrigações foram de 10,95; 9,98; 7,22 e 11,48 %, para os ISL= 0,469; 1,156; -2,268 e 1,439, respectivamente (Figura 18).

O modelo 25 foi mais influenciado no ISL= 1,156, com máximo entupimento de 49,70 %. As médias de entupimento das 15 irrigações foram 5,52; 34,28; 2,71 e 4,74 %, para valores crescentes de ISL.

Com relação ao modelo 26, observou-se aumento de vazão, com máxima porcentagem de entupimento de 4,75; 3,25; 3,20 e 4,33 % e com médias das 15 irrigações de 2,77; 1,32; 1,89 e 0,70 %, para os ISL= 0,469; 1,156; -2,268 e 1,439, respectivamente. Nesse modelo o maior ISL causou uma menor obstrução e o ISL= 0,469 foi o que mais obstruiu os gotejadores (Figura 18).

Figura 17 – Comportamento dos modelos de gotejadores autocompensantes 16, 17 e 20 após aplicação de água com diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

Figura 18 – Comportamento dos modelos de gotejadores autocompensantes 23, 25 e 26 após aplicação de água com diferentes *Índices de Saturação de Langelier*

Os resultados obtidos nos ensaios apresentados não comprovam a hipótese de que quanto maior o *Índice de Saturação de Langelier* maior o grau de entupimento de um emissor no campo. Um fato importante a ser destacado nos ensaios conduzidos foi a formação do chamado “*cake*” sobre a malha da tela do sistema de filtragem utilizado. Embora o filtro fosse limpo no início de cada aplicação de água em cada bloco analisado, observou-se que a abertura real de passagem da água entre os fios da malha diminuía com a deposição uniforme da massa de carbonatos sobre a tela de filtragem. Deste modo, quanto maior o *Índice de Saturação de Langelier* maior o grau de filtragem da água que passava pelo filtro parcialmente obstruído. Tais deposições podem ter sido causadas pela variação na composição química da água utilizada associada ou não as variações de temperatura da mesma ao longo do período de realização do experimento.

Durante todo esse experimento observaram-se entupimentos variados, tendo ocorrido picos de entupimentos nas irrigações subseqüentes. Observou-se também, a completa obstrução de alguns gotejadores que nas irrigações posteriores tiveram seu comportamento alterado, passando a apresentar entupimento parcial.

2.3.3 Desobstrução de gotejadores convencionais com aplicação contínua de HNO_3 por 12 h

O efeito do tratamento com HNO_3 na desobstrução dos gotejadores convencionais utilizados é apresentado nas Figuras 19 e 20. O tratamento com HNO_3 só foi eficiente na redução do entupimento do gotejador 24, sendo que nos demais modelos de gotejadores convencionais ou não houve apreciáveis diferenças em relação à situação de entupimento registrada após 240 h de irrigação (gotejadores 2, 5, 14 e 18) ou houve aumento da porcentagem de entupimento (gotejadores 19, 21 e 22).

Da utilização de HNO_3 para desobstrução, observou-se que o modelo 2 na primeira aplicação do HNO_3 estava com vazão de $1,87 \text{ L h}^{-1}$ e passou a $1,99 \text{ L h}^{-1}$, porém com a segunda aplicação do ácido a vazão tornou a diminuir para $1,86 \text{ L h}^{-1}$, sendo que sua UD aumentou de 86,39 % para 90,90 % na segunda aplicação do ácido. Comportamento semelhante foi observado nos demais modelos. O modelo 5 que estava com vazão de $2,64 \text{ L h}^{-1}$ com 240 h de funcionamento do sistema e passou a $2,74 \text{ L h}^{-1}$, porém com a segunda aplicação do ácido a vazão tornou a diminuir voltou para $2,66 \text{ L h}^{-1}$. Notou-se nesse modelo que embora a vazão tenha aumentado, o CV na primeira aplicação do ácido aumentou de 1,69 nas 240 h de funcionamento

do sistema para 5,30 %, tornando a diminuir sua vazão para 2,25 L h⁻¹ na segunda aplicação do HNO₃, sendo que sua UD manteve-se acima de 94 % (Figura 19 e Tabela 19). Já para o modelo 14 notou-se uma piora nos emissores partindo das 240 h de funcionamento com vazão de 2,20 L h⁻¹ para 2,13 e 2,16 L h⁻¹, após a primeira e a segunda aplicação do ácido, porém notou-se que o CV estava em 2,19 nas 240 h de funcionamento passando para 8,40 e 1,66, após a primeira e a segunda aplicação do ácido. Nesse caso a segunda aplicação melhorou o funcionamento do sistema de irrigação. O modelo 18 que apresentava 2,07 L h⁻¹ de vazão com 240 horas de funcionamento do sistema sofreu uma redução (1,91 L h⁻¹), após a primeira aplicação do ácido, porém com a segunda aplicação a vazão tornou a subir (2,06 L h⁻¹), observou-se nesse modelo que embora a vazão tenha aumentado, o CV na primeira aplicação do ácido aumentou de 1,69 L h⁻¹ nas 240 h de funcionamento do sistema para 5,30 L h⁻¹, tornando a baixar para 2,25 L h⁻¹ na segunda aplicação do HNO₃, um fato interessante é que mesmo com o CV aumentado a UD permaneceu acima de 92 % para esse modelo (Figura 19 e Tabela 17).

Figura 19 – Evolução do entupimento com $ISL = -2,268$ e desobstrução com HNO₃ utilizado por duas vezes com aplicações de 12 h continuamente em gotejadores convencionais

O modelo de gotejador 19 na primeira aplicação do HNO_3 apresentou uma vazão de $1,70 \text{ L h}^{-1}$ com 240 h de funcionamento do sistema e passou a $1,57 \text{ L h}^{-1}$, porém com a segunda aplicação do ácido a vazão diminuiu para $1,52 \text{ L h}^{-1}$ (Tabela 19). Sua UD variou de 91,92 % para 88,97 % na segunda aplicação do ácido, o que demonstrou que a segunda aplicação do ácido ocasionou uma maior desuniformidade ao sistema. O modelo 21 que estava com vazão de $1,80 \text{ L h}^{-1}$ quando novo, com a segunda aplicação do ácido diminuiu para $1,45 \text{ L h}^{-1}$, enquanto o CV na primeira aplicação do ácido estava em 5,91 e tornando aumentar para 6,22 % na segunda aplicação do HNO_3 , mas a UD manteve-se acima de 92 %.

Figura 20 – Evolução do entupimento com $\text{ISL} = -2,268$ e desobstrução com HNO_3 utilizado por duas vezes com aplicações de 12 h continuamente em gotejadores convencionais

No modelo 22 observou-se uma piora na vazão dos emissores partindo nas 240 h de funcionamento com vazão de $2,24 \text{ L h}^{-1}$ para 2,23 e $2,05 \text{ L h}^{-1}$, após a primeira e a segunda aplicação do ácido. O CV apresentou uma excelente melhora de 15,89 nas 240h de funcionamento do sistema para 5,48 e 3,91, após a primeira e a segunda aplicação do ácido. Nesse caso as aplicações sucessivas e intermitentes melhoraram o desempenho dos gotejadores, sendo sua UD de 85,33; 93,60 e 95,03 %, para 240 h de funcionamento, primeira e segunda aplicação do ácido, respectivamente. O modelo 24 estava bastante comprometido uma vez que

sua UD era de 32,74 % com 240 h de funcionamento do sistema e com aplicações de ácidos o mesmo recuperou parte de sua vazão inicial. Notou-se nesse modelo que além da vazão ter aumentado, o CV na segunda aplicação do ácido ficou em 44,41 %, bem abaixo do CV nas 240 h de funcionamento do sistema que era de 71,66 %. Na segunda aplicação do HNO_3 , a UD desse modelo consideravelmente em relação às 240 h de funcionamento com o $\text{ISL} = -2,268$ (Tabela 19).

Com base nos resultados obtidos, rejeita-se a hipótese de que a aplicação de ácido nítrico em tratamento de choque ($\text{pH} = 2$) sempre contribui para a melhoria da uniformidade de qualquer tipo de modelo de gotejador utilizado em sistemas de irrigação localizada. A resposta ao tratamento depende das particularidades de “design” de cada emissor analisado.

Tabela 19 – Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem, desvio padrão, coeficiente de variação de fabricação (CVf) e uniformidade de distribuição dos gotejadores convencionais após as duas aplicações de HNO_3 (R1 e R2)

Modelo	Antes da aplicação	Qr (%)		Antes da aplicação	Desvio padrão	
		R1	R2		R1	R2
2	80,60	85,78	80,17	0,30	0,06	0,13
5	85,16	88,39	85,81	0,04	0,15	0,06
14	87,65	84,86	86,06	0,05	0,18	0,04
18	83,47	77,02	83,06	0,14	0,06	0,09
19	92,35	91,76	89,41	0,11	0,07	0,21
21	87,78	87,78	80,56	0,08	0,09	0,09
22	98,68	98,24	90,31	0,36	0,12	0,08
24	80,88	51,47	85,29	0,40	0,15	0,26
Modelo	Antes da aplicação	CVf		Antes da aplicação	Ud (%)	
		R1	R2		R1	R2
2	16,10	3,00	6,84	86,39	96,75	90,90
5	1,69	5,30	2,25	97,90	94,55	97,22
14	2,19	8,40	1,66	97,63	92,20	97,96
18	6,62	3,19	4,35	92,82	96,09	94,79
19	7,22	4,48	13,56	91,92	95,22	88,97
21	4,88	5,91	6,22	95,02	93,58	92,84
22	15,89	5,48	3,91	85,33	93,60	95,03
24	71,66	44,56	44,41	32,74	43,32	63,02

Não se deve descartar a hipótese de que a aplicação contínua de ácido nítrico poderá ser benéfica para a uniformidade de irrigação de uma maior porcentagem dos emissores analisados. No tratamento de choque o desprendimento de precipitados nas paredes do tubo em larga escala e um curto espaço de tempo, torna-se um potencial elemento de obstrução física do sistema, o que seria evitado na aplicação contínua.

2.3.4 Desobstrução de gotejadores autocompensantes com aplicação contínua de HNO_3 por 12 h

Com relação aos modelos autocompensantes utilizados o tratamento com HNO_3 produziu uma pequena diminuição do entupimento nos modelos 1, 8 e 9 e um aumento do entupimento nos modelos 3, 4, 6, 7 e 10 (Figuras 21 a 23).

É possível que o aumento do entupimento nos modelos 3, 4, 6, 7 e 10 deva-se ao desprendimento de parte dos carbonatos retidos nos labirintos destes gotejadores e/ou na parede dos tubogotejadores. No caso específico dos gotejadores que apresentaram aumento de vazão após a passagem da água carbonatada, a retirada dos carbonatos das membranas autocompensantes pode ter permitido a volta do mesmo a condição normal de funcionamento.

Figura 21 – Evolução do entupimento com $\text{ISL} = -2,268$ e desobstrução com HNO_3 utilizado por duas vezes com aplicações de 12 h continuamente em gotejadores autocompensantes

O aumento do entupimento em alguns modelos com a irrigação com ácido, pode ter ocorrido devido a danos na membrana de compensação o que causaria variações de entupimento, devido ao desprendimento de material das paredes do tubogotejador que ficou retido entre a membrana e o orifício, alterando assim, a autocompensão do emissor. 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 resistente à gordura animal e óleos vegetais, ozônio e substâncias químicas oxidantes fortes (MANO e MENDES, 2004).

Ao final das aplicações de HNO_3 os gotejadores 1, 3, 6, 7, 8, 9, 11 e 20 apresentaram UD superiores as registradas antes da aplicação de ácido, enquanto que os demais apresentaram diminuição na UD, com destaque para o gotejador 16 que apresentou UD do que 20% (Tabela 20).

Figura 22 – Evolução do entupimento com $\text{ISL} = -2,268$ e desobstrução com HNO_3 utilizado por duas vezes com aplicações de 12 h continuamente em gotejadores autocompensantes

Tabela 20 - Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem, desvio padrão, coeficiente de variação de fabricação (CVf) e uniformidade de distribuição (UDnovo 25%) dos gotejadores autocompensantes do ensaio 4

Modelo	Qr (%)			Desvio padrão		
	Antes da aplicação	R1	R2	Antes da aplicação	R1	R2
1	90,60	92,31	92,31	0,06	0,03	0,03
3	104,83	103,38	100,00	0,07	0,08	0,05
4	103,84	104,35	102,05	0,17	0,13	0,16
6	99,58	97,90	99,16	0,08	0,05	0,05
7	97,24	94,47	95,39	0,11	0,13	0,09
8	85,65	62,68	94,74	0,17	0,05	0,07
9	96,14	68,12	97,58	0,10	0,06	0,09
10	98,31	97,03	87,71	0,05	0,14	0,18
11	97,75	62,16	95,95	0,20	0,11	0,20
12	86,75	89,74	85,47	0,04	0,03	0,07
13	80,57	104,59	79,15	0,04	0,17	0,23
15	100,00	97,22	101,67	0,08	0,20	0,11
16	98,81	89,58	28,57	0,49	0,51	0,93
17	84,98	93,04	90,84	0,07	0,09	0,17
20	93,43	93,07	97,81	0,53	0,07	0,05
23	85,40	64,23	83,94	0,02	0,02	0,03
25	109,21	111,84	106,58	0,06	0,06	0,05
26	100,65	100,00	98,06	0,05	0,05	0,06

Modelo	CVf			Ud (%)		
	Antes da aplicação	R1	R2	Antes da aplicação	R1	R2
1	5,85	2,49	2,47	95,47	97,10	97,79
3	3,44	3,64	2,63	96,55	96,17	97,54
4	4,18	3,18	4,04	95,46	96,10	94,85
6	3,43	2,18	1,95	97,73	97,86	98,15
7	5,23	6,43	4,39	93,84	92,91	94,53
8	9,45	3,72	3,59	91,90	95,98	97,02
9	4,79	4,45	4,68	94,63	95,07	95,09
10	2,33	6,27	8,90	97,42	92,53	91,38
11	9,40	8,06	9,25	89,94	91,37	90,57
12	2,02	1,64	3,42	98,05	98,37	96,46
13	1,60	5,88	10,47	98,16	94,43	87,68
15	4,49	11,50	5,75	95,00	88,33	93,39
16	14,76	17,00	96,22	84,39	79,78	18,64
17	2,86	3,73	6,75	96,67	96,02	91,36
20	20,92	2,60	1,89	82,89	97,02	97,64
23	1,70	2,25	2,26	98,14	97,80	97,82
25	3,40	3,75	3,11	97,18	95,06	96,39
26	3,15	3,27	3,93	96,64	95,98	95,79

Figura 23 – Evolução do entupimento com $ISL = -2,268$ e desobstrução com HNO_3 utilizado por duas vezes com aplicações de 12 h continuamente em gotejadores autocompensantes

Figura 24 – Evolução do entupimento com $ISL = -2,268$ e desobstrução com HNO_3 utilizado por duas vezes com aplicações de 12 h continuamente em gotejadores autocompensantes

Figura 25 – Evolução do entupimento com ISL= -2,268 e desobstrução com HNO₃ utilizado por duas vezes com aplicações de 12 h continuamente em gotejadores autocompensantes

2.3.5 Monitoramento da obstrução de gotejadores convencionais com utilização de sulfato de cálcio em solução

Observa-se nas Figuras 26 e 27 o comportamento dos modelos de gotejadores convencionais utilizados no experimento com a aplicação de CaSO₄. Com a utilização do sulfato de cálcio observou-se uma tendência de um pequeno aumento da obstrução em quase todos os modelos.

Houve uma estabilização na porcentagem de entupimento para o modelo 2, com máximo valor na primeira aplicação do sulfato de cálcio (24,67 %).

De uma maneira geral, observou-se que o uso de sulfato de cálcio foi compatível com os modelos de gotejadores convencionais analisados. Distúrbios de vazão ocasionada podem ser contornados parcial ou totalmente com o uso de acidificação de limpeza.

Os modelos 14, 18 e 24 só tiveram aumento do entupimento, ainda que pequeno em relação à limpeza prévia com HNO₃, no final da aplicação de CaSO₄.

Figura 26 – Comportamento dos modelos de gotejadores (convencionais) 2, 5, 14 e 18 com a utilização de sulfato de cálcio a partir de 240 h de funcionamento do sistema

Figura 27 – Comportamento dos modelos de gotejadores (convencionais) 19, 21, 22 e 24 com a utilização de sulfato de cálcio a partir de 240 h de funcionamento do sistema

2.3.6 Monitoramento da obstrução de gotejadores autocompensantes com a utilização de sulfato de cálcio em solução

A utilização de CaSO_4 na água de irrigação produziu na maioria dos gotejadores autocompensantes aumento do entupimento em relação à situação registrada após a injeção de HNO_3 (Figura 28 a 32). Entretanto, a taxa de entupimento não seguiu um padrão bem definido durante as sucessivas aplicações de CaSO_4 .

Figura 28 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 1, 3, 4 e 6 com a utilização de sulfato de cálcio a partir de 240 h de funcionamento do sistema

O gotejador 7 apresentou uma nítida tendência de diminuição do entupimento com a aplicação de CaSO_4 , como se o mecanismo de compensação se mostrasse mais eficiente com a utilização de CaSO_4 em solução. O modelo de gotejador 10 apresentou tendência crescente de entupimento com o passar das horas de irrigação com o CaSO_4 (Figura 29).

Figura 29 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 7, 8, 9 e 10 com a utilização de sulfato de cálcio a partir de 240 h de funcionamento do sistema

Todos os modelos apresentaram tendência à obstrução com as irrigações subseqüentes utilizando o CaSO_4 , porém o modelo 15 mostrou-se com certa estabilidade ao entupimento (Figura 30).

Figura 30 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 11, 12, 13 e 15 com a utilização de sulfato de cálcio a partir de 240 h de funcionamento do sistema

Com grande sensibilidade ao entupimento, o modelo 16 teve uma elevada obstrução com valores de 66,00; 61,42; 45,68; 32,74 e 29,77 % para a primeira, segunda, terceira, quarta e quinta irrigação, respectivamente (Figura 31).

Figura 31 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 16, 17, 20 e 23 com a utilização de sulfato de cálcio a partir de 240 h de funcionamento do sistema

Figura 32 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 25 e 26 com a utilização de sulfato de cálcio a partir de 240 h de funcionamento do sistema

Como foi visto nos modelos convencionais analisados anteriormente, os emissores autocompensantes não são tão compatíveis quanto os primeiros, uma vez que sofreram uma maior variação de vazão, porém assim como os emissores convencionais o distúrbio de vazão ocasionado poderá ser contornado com o uso de acidificação de limpeza.

2.3.7 Desobstrução de gotejadores convencionais com HCl, HNO₃ e H₂SO₄

Observou-se que o H₂SO₄ foi o menos eficiente na limpeza e desobstrução dos gotejadores, chegando a aumentar o entupimento em alguns modelos (Figuras 33 a 36).

O tratamento com HCl promoveu a redução do entupimento nos gotejadores 5, 14, 18, 22 e 24 e o aumento do entupimento nos demais modelos, a exceção do modelo 19 que não apresentou resposta a esse tratamento (Figuras 33 a 36).

Figura 33 – Comportamento dos modelos de gotejadores 2 e 5 (convencionais) após aplicação de HCl, HNO₃, e H₂SO₄

Para o modelo 2 o HNO₃ e HCl tiveram desempenho semelhante na desobstrução por carbonato (Figura 33).

Por outro lado, a utilização de HNO_3 promoveu a redução de entupimento nos gotejadores 2, 14, 18, 19, 21, 22 e 24 (Figuras 33 a 36).

Figura 34 – Comportamento dos modelos de gotejadores 14 e 18 (convencionais) após aplicação de HCl , HNO_3 , e H_2SO_4

Em nenhum dos gotejadores o tratamento de acidificação com qualquer dos três ácidos foi suficientemente eficiente para promover à recuperação dos gotejadores a condição inicial de vazão. Em parte essa condição deve-se as alterações causadas pelo uso dos emissores, que apresentaram com o passar do tempo desgaste natural mais ou menos rápido dependendo das condições mais corrosivas da água de irrigação, das condições ambientais e do dimensionamento apropriado ou não do sistema de irrigação como um todo.

Figura 35 – Comportamento dos modelos de gotejadores 19 e 21 (convencionais) após aplicação de HCl, HNO₃, e H₂SO₄

Figura 36 – Comportamento dos modelos de gotejadores 22 e 24 (convencionais) após aplicação de HCl, HNO₃, e H₂SO₄

Pode-se, ainda, especular que algumas das variações observadas devem-se a instabilidade de alguns gotejadores, em função do uso. Em alguns casos, a pressão utilizada pode ter sido a responsável pelas variações observadas.

2.3.8 Desobstrução de gotejadores autocompensantes com a utilização de HCl, HNO₃ e H₂SO₄

O tratamento com HCl resultou na diminuição do entupimento atribuível a carbonatos nos modelos de gotejadores 25, 26, 4, 9, 10, 11, 12, 13, 20 e 16 e no aumento do entupimento nos gotejadores 6, 7, 1, 8 e 15 (Figuras 37 a 46).

Figura 37 – Comportamento dos modelos de gotejadores 6 e 7 (autocompensantes) de um mesmo fabricante após aplicação de HCl, HNO₃ e H₂SO₄

Entretanto, nenhum dos modelos apresentou resposta uniforme a aplicação de ácido, sugerindo que outros fatores controlam o desempenho dos gotejadores a acidificação da água de irrigação. Um destes fatores pode ser a maior ou menor quantidade de carbonatos presentes na

linha de gotejamento que pode resultar em um tamponamento parcial da água, como a água por si só não apresenta poder tampão, seria mesmo uma maior quantidade de carbonatos a neutralizar o que exigiria mais ácido.

O HNO_3 produziu redução de entupimento nos modelos de gotejadores 26, 1, 10, 12 e 16 e aumento do entupimento nos demais gotejadores autocompensantes (Figuras 37 a 46).

Figura 38 – Comportamento dos modelos de gotejadores 25 e 26 (autocompensantes) de um mesmo após aplicação de HCl , HNO_3 e H_2SO_4

Já o H_2SO_4 resultou na diminuição do entupimento nos modelos de gotejadores 25, 26, 1, 8, 12, 15, 16 e 17, tendo efeito contrário nos demais modelos autocompensantes (Figura 37 a 46).

De todos os modelos testados, apenas os modelos 26, 12 e 16 tiveram redução de entupimento com os três ácidos utilizados, embora a magnitude da diminuição não tenha sido a mesma.

Figura 39 – Comportamento dos modelos de gotejadores 1 e 3 (autocompensantes) após aplicação de HCl, HNO₃ e H₂SO₄

Observou-se no modelo 4 que no ISL= 1,156 o mesmo apresentou um aumento de vazão, o que pode ser devido a um maior acúmulo de carbonatos na membrana de compensação e com o passar das aplicações de HNO₃ houve uma estabilização da vazão atingindo quase 0% de entupimento. Para o mesmo modelo e no bloco que foi irrigado com ISL= -2,268 houve um aumento do entupimento com o passar das aplicações de H₂SO₄, possivelmente pelo arraste desses carbonatos com posterior concentração nos emissores. Já para o bloco que havia sido

irrigado com $ISL = 0,469$ quando se utilizou o HCl observou-se um aumento de vazão com o continuar das aplicações, possivelmente pela deposição dos carbonatos na membrana de compensação desse modelo de emissor (Figura 40).

Figura 40 – Comportamento do modelo de gotejador 4 (autocompensante) após aplicação de HCl, HNO₃ e H₂SO₄

Observou-se no modelo 8 que no $ISL = 1,156$ o mesmo apresentou um pequeno aumento do entupimento (1ª e 2ª leituras, correspondentes a terceira e sexta aplicação do ácido), já na 3ª leitura, que corresponde a nove aplicações do HNO₃, houve uma redução do entupimento. Para o mesmo modelo e no bloco que foi irrigado com $ISL = -2,268$ observou-se redução do entupimento com o passar das aplicações de H₂SO₄, a exceção da 3ª leitura (nona aplicação do ácido) que elevou o entupimento. Já para o bloco que havia sido irrigado com $ISL = 0,469$ quando se utilizou o HCl observou-se um aumento do entupimento com o continuar das aplicações, possivelmente pela deposição dos carbonatos nos emissores. No modelo 9 quase todos os ácidos provocaram aumento do entupimento para esse emissor ao final da 12ª aplicação de ácido (4ª leitura) (Figura 41).

Figura 41 – Comportamento dos modelos de gotejadores 8 e 9 (autocompensantes) após aplicação de HCl, HNO₃ e H₂SO₄

No modelo 10 o H₂SO₄ provocou aumento do entupimento na 12ª aplicação de ácido (4ª leitura) para o bloco que havia sido irrigado com ISL= -2,268. Modelo 11 observou-se que o tratamento com HCl teve uma redução com a repetição das aplicações, o mesmo foi irrigado com ISL=1,156 e apresentou o mais alto entupimento quando comparado aos demais blocos. Já para o bloco que havia sido irrigado com ISL=1,156 houve um aumento do entupimento na sexta aplicação do ácido (2ª leitura) com posterior redução do entupimento. Para o mesmo modelo e no bloco que foi irrigado com ISL= -2,268 observou-se redução do entupimento na sexta aplicação do H₂SO₄, e nas irrigações seguintes tornou a subir o entupimento voltando quase ao comportamento inicial. (Figura 42).

Figura 42 – Comportamento dos modelos de gotejadores 10 e 11 (autocompensantes) após aplicação de HCl, HNO₃ e H₂SO₄

Observou-se no modelo 12 que as aplicações do HCl não influenciaram nesse modelo, notou-se uma estabilidade com as sucessivas aplicações. Ao final da 12ª aplicação (4ª leitura) tanto o HNO₃ quanto o H₂SO₄ provocaram aumento do entupimento nesse modelo de emissor (Figura 43).

Figura 43 – Comportamento do modelo 12 de gotejador (autocompensante) após aplicação de HCl, HNO₃ e H₂SO₄

Observou-se no modelo 13 que no ISL= 1,156 o mesmo apresentou um pequeno aumento do entupimento ao longo das sucessivas aplicações do HNO₃. Para o mesmo modelo, cujo bloco havia sido irrigado com ISL= -2,268, observou-se redução do entupimento na 3ª leitura o que corresponde a nove aplicações do H₂SO₄. Já para o bloco que havia sido irrigado com ISL= 0,469 quando se utilizou o HCl observou-se uma redução do entupimento, porém com o continuar da aplicações de ácido não houve nenhuma resposta o entupimento não mais sofreu alteração. No modelo 20 parece que o H₂SO₄ contribuiu para o aumento do entupimento. Nos demais ácidos houve um ligeiro aumento do entupimento inicialmente, porém na 12ª aplicação tanto para o bloco que foi utilizado o HCl quanto o HNO₃, notou-se uma diminuição do entupimento (Figura 44).

Figura 44 – Comportamento dos modelos de gotejadores 13 e 20 (autocompensantes) após aplicação de HCl, HNO₃ e H₂SO₄

Alguns modelos de gotejadores apresentaram aumento de vazão após a utilização, como foi constatado por Resende et al. (2001) para um modelo de gotejador autocompensante. De acordo com esses autores, o aumento de vazão em função do tempo de uso do emissor pode estar relacionado à deterioração da membrana flexível dos gotejadores.

O H₂SO₄ provocou no modelo 15 uma drástica redução do entupimento, melhorando a eficiência do mesmo, nos demais ácidos notou-se aumento do entupimento. No modelo 16 o H₂SO₄ parece que não surtiu efeito suas sucessivas aplicações na desobstrução desse modelo, O HCl reduziu drasticamente o entupimento, bem como o HNO₃ que se mostrou eficiente a partir da 9ª aplicação de ácido (Figura 45).

Figura 45 – Comportamento dos modelos de gotejadores 15 e 16 (autocompensantes) de um mesmo fabricante após aplicação de HCl, HNO₃ e H₂SO₄

O modelo 17 notou-se o pior desempenho do HNO₃ com aumento do entupimento para esse modelo, o H₂SO₄ ao final das aplicações sucessivas mostrou-se mais eficiente. Já para o modelo 23 observou-se na 1ª leitura que todos os ácidos provocaram aumento do entupimento, porém o H₂SO₄ foi o que mais causou obstrução a esse modelo de emissor (Figura 46).

Figura 46 – Comportamento dos modelos de gotejadores 17 e 23 (autocompensantes) de um mesmo fabricante após aplicação de HCl, HNO₃ e H₂SO₄

Em comparação entre os valores de vazões iniciais e finais, se reforça a existência de interferência do tipo de água sobre o desempenho dos emissores e que, em média, as vazões dos emissores sofrem alterações durante o ciclo. O tratamento com ácido nem sempre foi eficiente e para os três ácidos utilizados nesse ensaio nenhum se mostrou 100 % eficiente. O que pareceu prevalecer foi a resistência ao entupimento dos modelos utilizados e não a eficiência do tratamento adotado. Têm-se assim, a junção de dois fatores, quais sejam gotejadores resistentes ao entupimento e manejo com aplicações de ácidos. Porém, de uma forma geral o HNO₃ parece ter sido o que se mostrou mais eficiente na desobstrução desses modelos de gotejadores.

2.3.9 Desobstrução de gotejadores convencionais com CO₂

O tratamento com CO₂ reduziu o entupimento nos gotejadores 5, 18, 19 e 22, a magnitude da desobstrução foi muito variável, sendo mais expressiva no modelo 18. Nos demais gotejadores convencionais houve aumento do entupimento ao final do tratamento (Figuras 47 a 50). Dos modelos testados, o 18 foi o que apresentou uma tendência mais expressiva de desobstrução em função da aplicação de CO₂ para remoção de precipitados de carbonatos de cálcio e magnésio.

Figura 47 – Comportamento dos modelos de gotejadores (convencionais) 2 e 5 após aplicação de CO₂

Merece destaque o comportamento diferenciado do modelo 24 que sofreu um grande aumento de entupimento durante o período de repouso e após as duas primeiras aplicações de

CO₂. É possível que parte do entupimento tenha sido gerado pela diminuição do conteúdo de água dentro dos tubogotejadores, o que facilita a precipitação em função do aumento de concentração da solução, durante o período em que ele permaneceu sem funcionamento.

Figura 48 – Comportamento dos modelos de gotejadores (convencionais) 14 e 18 após aplicação de CO₂

Figura 49 – Comportamento dos modelos de gotejadores (convencionais) 19 e 21 após aplicação de CO₂

Figura 50 – Comportamento dos modelos de gotejadores (convencionais) 22 e 24 após aplicação de CO₂

2.3.10 Desobstrução de gotejadores autocompensantes com CO₂

Com relação ao tratamento com CO₂ para desobstrução dos gotejadores autocompensantes, observou-se que o mesmo produziu uma redução do entupimento nos gotejadores 7, 9, 12 e 13, enquanto que nos demais gotejadores ocorreu aumento da porcentagem de entupimento ao final do tratamento (Figuras 51 a 60).

O comportamento dos emissores no decorrer do experimento foi, na maioria das vezes, errático, não seguindo um padrão ou tendência bem definida e, não raro, alguns gotejadores apresentaram picos de obstruções ou desobstruções alternados ou não (Figuras 51, 52, 56 e 58).

Tais variações podem estar relacionadas à instabilidade no sistema de compensação na presença de concentrações mais elevadas de CO_2 .

A aplicação de CO_2 na água de irrigação produziu nos gotejadores 25, 26, 3 e 4 uma diminuição da vazão em relação aos valores registrados após 58 dias de repouso, com tendência de diminuir a vazão aos valores registrados nos gotejadores novos (entupimento zero).

Figura 51 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 6 e 7 após aplicação de CO_2

Gotejador 25

Gotejador 26

Figura 52 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 25 e 26 após aplicação de CO₂

Figura 53 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 1 e 3 após aplicação de CO₂

Figura 54 – Comportamento do modelo de gotejador (autocompensante) 4 após aplicação de CO₂

Figura 55 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 8 e 9 após aplicação de CO₂

Figura 56 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 10 e 11 após aplicação de CO_2

Figura 57 – Comportamento do modelo de gotejador (autocompensante) 12 após aplicação de CO_2

Gotejador 13

Gotejador 20

Figura 58 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 13 e 20 após aplicação de CO₂

Figura 59 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 15 e 16 após aplicação de CO₂

Figura 60 – Comportamento dos modelos de gotejadores (autocompensantes) 17 e 23 após aplicação de CO_2

2.3.11 Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de carbonato de potássio e posterior tratamento com HNO_3

A vazão relativa (Q_r %), a porcentagem de entupimento, o CVf e a uniformidade de distribuição (UD %) registrados para os gotejadores testados são apresentados nas Figuras 61 a 68. Como no caso da aplicação da água com diferentes ISL, a resposta à aplicação de K_2CO_3 apresentada pelos gotejadores foi muito irregular durante o decorrer do ensaio e nenhum dos gotejadores foi totalmente obstruído no período analisado.

Durante o experimento, não foi visualmente observado nenhuma ocorrência de obstrução química na saída dos orifícios.

Observou-se uma pequena diminuição do entupimento da 9ª até a 12ª irrigação para alguns modelos, sendo que essas leituras corresponderam as aplicações do ácido nítrico.

Nos modelos 1, 2, 3 e 4, com relação à vazão média, observou-se diminuições das vazões durante a aplicação de carbonato de potássio e após as aplicações do ácido que não foi totalmente eficiente na recuperação dos emissores.

Quando se comparou a vazão inicial (gotejador novo) com a vazão na 12ª irrigação para os modelos 1, 2, 3 e 4, observou-se porcentagens de 33,84 %; 20,84; 12,44 e 11,79 %. Seguindo a sequência anterior, quando se relacionou às 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação do carbonato de potássio, observou-se porcentagens de -2,89; -8,37; -3,68 e 8,55 %.

Para os modelos 5, 8, 9, 10, 11 e 12, quando se comparou sua vazão inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação observou-se reduções de 18,62; 19,76; 17,51; 16,21; 15,47 e 11,16 %. Para esses mesmos modelos e seguindo a sequência anterior, quando se relacionou às 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação do carbonato de potássio, observou-se porcentagens de -9,71; -7,42; -3,57; -3,48; -1,31 e -1,40 %.

Nos modelos 6, 7, 14, 18, 25 e 26 a comparação da vazão inicial (gotejador novo) com a 12ª irrigação, mostra reduções de 9,86; 3,83; 19,06; 19,97; 0,61 e 1,67 %. Quando se relacionou às 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação do carbonato de potássio observou-se porcentagens de 3,14; -1,29; 6,55; -4,37; 0,52 e -7,11 % (Figura 61).

Figura 61 – Vazão relativa dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de carbonato de potássio

Comparando-se a vazão inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação para os modelos 15, 16, 17 e 19, observaram-se reduções de 21, 25; 21,61; 15,20 e 3,60 %. Para esses mesmos modelos de emissores e seguindo a sequência anterior, quando se relacionou a vazão nas 360 h de

irrigação com a 1ª leitura após aplicação do carbonato de potássio, observou-se porcentagens de -0,34; 2,75; 1,41 e -2,31 %.

Para os modelos 13, 20, 21, 22, 23 e 24 quando se comparou sua vazão inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação observaram-se reduções de 24,95; 13,63; 19,99; 12,14; 5,35 e 5,13 %. Já quando se relacionou às 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação do carbonato de potássio, observaram-se porcentagens de -7,91; 20,89; -5,94; 2,61; -2,76 e 13,88 % (Figura 62).

Figura 62 - Vazão relativa dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de carbonato de potássio

Observou-se que nos modelos 1, 2, 3 e 4 as porcentagens de entupimentos foram respectivamente, 25,10; 50,49; 97,53 e 142,41 % em relação às 360 h de irrigação e a 1ª leitura após a aplicação de carbonato de potássio.

Para os modelos 5, 8, 9, 10, 11 e 12, quando se comparou a vazão após 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação do carbonato de potássio, as porcentagens foram de 39,44; 104,37; 39,02; 52,24; 30,6 e 5,81 %, respectivamente. Já para os modelos 6, 7, 14, 18, 25 e 26

obtiveram-se porcentagens de -144,81; 59,72; -49,74; 27,94; 72,22 e 127,89 %, respectivamente (Figura 63).

Figura 63 – Porcentagem de entupimento dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de carbonato de potássio

Os modelos 15, 16, 17 e 19, apresentaram entupimentos de 4,58; -30,36; -27,97 e 11,66 %, para esses quando se relacionou a vazão após 360 h de irrigação com a 1ª leitura após o

tratamento. Já os modelos 13, 20, 21, 22, 23 e 24, na mesma comparação, apresentaram entupimentos de 32,80; -1429,86; 47,78; -70,79; -53,30 e -541,20 %, respectivamente (Figura 64).

Figura 64 – Porcentagem de entupimento dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 19, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de carbonato de potássio

O coeficiente de variação de vazão inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação para os modelos 1, 2, 3 e 4, teve porcentagens de -437,41; -640,99; 67,81 e -188,28 %. Seguindo a sequência anterior, quando se relacionou o coeficiente de variação de vazão após as 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação do carbonato de potássio, observou-se porcentagens de 11,89; -15,65; 5,93 e 1,18 %, respectivamente (Figura 65).

Figura 65 – Coeficiente de variação dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de carbonato de potássio

Seguindo-se o mesmo padrão de comparação, para os modelos 5, 8, 9, 10, 11 e 12 observaram-se reduções de 39,22; -25,29; -9,13; -54,15; -4,09 e -116,95 %, respectivamente.

Nos modelos 6, 7, 14, 18, 25 e 26, quando se comparou o coeficiente de variação de vazão inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação, observou-se as seguintes porcentagens -68,19;

-59,68; 17,28; -161,86 e -6,54 %. Seguindo a sequência anterior, quando se relacionou às 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação do carbonato de potássio, observou-se porcentagens de 57,95; -83,96; 1053,19; 10,04; 1,34 e 13,92 %, respectivamente (Figura 65).

O coeficiente de variação de vazão inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação para os modelos 15, 16, 17 e 19, apresentou diferenças de -397,25; -70,30; -62,95 e 1172,56 %, respectivamente. Na mesma ordem, quando se relacionou às 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação do carbonato de potássio, observou-se porcentagens de -6,17; -100,20; 25,12 e 22,49 %, respectivamente (Figura 66).

A entrada da água no gotejador é feita através de um filtro finamente engenhado, projetado para evitar a penetração de partículas de sujeira nas passagens de água. Qualquer partícula que possa causar o entupimento será expelida através das amplas passagens de água, ou incrementará a pressão diferencial, fazendo com que o diafragma momentaneamente aumente o volume de corte transversal da saída de água e expulse a sujeira para fora do sistema. Esta limpeza contínua durante todo o ciclo de funcionamento do emissor, contribui para evitar problemas com obstruções (TEIXEIRA, 2006). Mas apenas este mecanismo não foi eficiente, o que permitiu as variações de vazões observadas ao longo dos ensaios.

Já para os modelos 13, 20, 21, 22, 23 e 24, quando se comparou o coeficiente de variação de vazão inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação, obteve-se as seguintes porcentagens 33,21; -50,58; -62,35; -185,40; -283,16 e -422,32 %, respectivamente. Seguindo a mesma sequência de gotejadores, quando se relacionou às 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação do carbonato de potássio, observou-se porcentagens de -72,48; 24,53; -25,98; -83,52; 17,68 e -40,47 % e, com relação às 360 h de irrigação e a última leitura (12ª), valores -22,82; -34,93; 19,88; -26,50; -7,52 e -62,27 %, respectivamente (Figura 66).

Figura 66 – Coeficiente de variação dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21 e 22 após utilização de carbonato de potássio

Os altos valores de coeficiente de variação encontrados após os ensaios podem estar relacionados principalmente a obstrução total ou parcial dos tubogotejadores, como também foi sugerido por Oliveira et al. (2000).

Com relação à uniformidade de distribuição observa-se que os modelos 16, 19, 4, 12, 6, 7, 22 e 24 mostraram-se instáveis no decorrer do experimento e, apresentaram uniformidade de distribuição menor que 85%, pelo menos em uma das avaliações, sendo que os modelos 19, 4, 12 e 24 foram os que apresentaram os índices mais baixos (Figuras 67 e 68).

Figura 67 – Uniformidade de distribuição dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de carbonato de potássio

De uma maneira geral, as aplicações de ácidos ocorridas após a 8ª irrigação não causaram uma melhora significativa na recuperação dos emissores, sendo que em alguns modelos observou-se aumento de vazão e em outros uma maior redução.

Figura 68 – Uniformidade de distribuição dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de carbonato de potássio

2.3.12 Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de superfosfato simples e posterior tratamento com HNO_3

A aplicação de fósforo através da irrigação por gotejo não tem sido recomendada, uma vez que a maioria dos fertilizantes fosfatados tem criado problemas de precipitação química ou física e, conseqüentemente, causa entupimento nos sistemas de irrigação. Quando se aplica fontes inorgânicas de fósforo existe um alto risco de precipitação de fosfatos, como fosfato tricálcio, se as águas contiverem cálcio e o pH for superior a 6,5. Logo, deve-se ter critério na escolha da fonte e sua concentração na água de irrigação (VILLAS BOAS; BOARETTO; VITTI, 1994).

A irrigação por gotejo pode aumentar o movimento de fósforo no solo de 5 a 10 vezes se comparado ao método convencional. O movimento é maior desta forma porque há maior concentração em um volume menor de solo, e há saturação dos sítios de fixação próximos ao ponto de aplicação. Como a concentração do nutriente no solo está relacionada ao seu movimento e este, por sua vez, com a área de molhamento, quanto menor o raio de molhamento maior concentração no solo (VILLAS BOAS; BOARETTO; VITTI, 1994).

Nesse ensaio, onde se buscou simular uma fertirrigação e descobrir o que ocasionaria o uso desse produto nos emissores ao longo das irrigações, observou-se que a resposta ao entupimento devido ao uso de superfosfato simples dependeu do modelo de gotejador utilizado, sendo que a maioria apresentou redução de vazão e algum grau de entupimento (Figuras 69 a 72).

Apenas o gotejador 4 não apresentou apreciável diminuição de sua vazão inicial e manteve a uniformidade de distribuição próxima a 100 % (Figuras 69 e 76).

Figura 69 – Vazão relativa dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de superfosfato simples

A utilização de ácido nítrico para acidificação da água e desobstrução dos emissores causada por superfosfato simples nem sempre produziu o efeito esperado e a resposta também dependeu do tipo de gotejador utilizado (Figuras 69 e 70).

Figura 70 – Vazão relativa dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de superfosfato simples

Figura 71 – Porcentagem de entupimento dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de superfosfato simples

Figura 72 – Porcentagem de entupimento dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de superfosfato simples

Figura 73 – Coeficiente de variação de vazão dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de superfosfato simples

Com as aplicações de HNO_3 observou-se um acúmulo de superfosfato simples na saída dos emissores (Figura 75).

Figura 74 – Coeficiente de variação de vazão dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de superfosfato simples

Figura 75 – Emissores utilizados no ensaio com superfosfato simples ao final da aplicação do ácido nítrico

Figura 76 – Uniformidade de distribuição dos emissores (UD) 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de superfosfato simples

Comparou-se a uniformidade de distribuição inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação para os modelos 15, 16, 17 e 19, observaram-se valores de 1,02; 0,19; 25,79 e 39,32 %, para esses modelos de emissores e seguindo a sequência anterior, quando se relacionou às 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação do superfosfato simples, observou-se porcentagens de 2,55; -2,01; -2,78 e -0,95 % e com relação às 360 h de irrigação e a última leitura (12ª) temos as seguintes porcentagens -4,83; -6,12; 24,54 e 37,04 %, respectivamente. Já para os modelos 13, 20, 21, 22, 23 e 24, quando se comparou a UD inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação observou-se as seguintes porcentagens 3,49; 4,03; 20,95; 8,74; 81,59 e 24,13 % (Figura 77).

Figura 77 – Uniformidade de distribuição dos emissores (UD) 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de superfosfato simples

2.3.13 Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de cal hidratada

Quando se comparou a vazão inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação para os modelos 1, 2, 3 e 4, observou-se reduções de 47,45; 23,21; 16,20 e 9,50 %, respectivamente. Seguindo-se a seqüência anterior, quando se relacionou a vazão após 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação de cal hidratada, observou-se porcentagens de -10,09; 3,45; -2,89 e -2,91 %, respectivamente (Figura 78).

Figura 78 – Vazão relativa dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de cal hidratada

Nos modelos 5, 8, 9, 10, 11 e 12, quando se comparou a vazão inicial (gotejador novo) e com a da 12ª irrigação, observou-se reduções de 25,20; 27,70; 18,67; 18,98; 19,84 e 24,34 %, respectivamente. Na mesma seqüência, quando se relacionou a vazão após 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação de cal hidratada, obteve-se porcentagens de -2,03; 0,41; -4,24; -2,38; -2,88 e -1,95 % (Figura 78).

Para os modelos 6, 7, 14, 18, 25 e 26 observou-se reduções de 15,35; 10,75; 20,96; 15,91; 3,21 e 4,75 %, entre a vazão inicial e a vazão após a 12ª aplicação de cal. Quando se relacionou a vazão após 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação de ácido, observou-se porcentagens de -1,47; 0,68; -3,87; -6,44; -6,79 e 4,71 % (Figura 78).

Comparou-se a vazão inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação para os modelos 15, 16, 17 e 19, observou-se reduções de 39,45; 47,44; 25,92 e 32,15 %. Para esses mesmos modelos de emissores e seguindo a sequência anterior, quando se relacionou a vazão após 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação de cal hidratada, constatou-se porcentagens de -2,36; -22,78; -2,51 e -4,78 % (Figura 79).

Figura 79 – Vazão relativa dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de cal hidratada

Já os modelos 13, 20, 21, 22, 23 e 24 apresentaram, respectivamente, reduções de 30,15; 21,68; 35,26; 2,79; 11,49 e 24,66 %, entre a vazão inicial após a 12ª irrigação. Após as 360 h de irrigação e a 1ª aplicação de cal hidratada, observou-se porcentagens de -9,75; -6,33; -11,10; -1,49; -13,79 e 15,62 % (Figura 79).

Figura 80 – Porcentagem de entupimento dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de cal hidratada

Os gotejadores 1, 2, 3, 4, 6, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25 e 26, apresentaram, respectivamente, porcentagens de entupimento ao final das oito aplicações de 23,78; 15,25; 11,91; -10,52; 10,48; 3,4; 2,48; 17,67; 8,82; 11,50; 7,25; 20,75; 15,55; 16,92; 8,36; 21,19; -2,20; 9,26; 16,77; 6,42; 18,10; -0,15; 12,52; 27,18; 7,53 e 5,23%

(Figuras 80 e 81). Dessa forma, apenas os gotejadores 6, 7 e 22, mostraram baixa susceptibilidade (menos de 5%) ao entupimento com o produto em questão.

Figura 81 – Porcentagem de entupimento dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de cal hidratada

O tratamento com ácido, por outro lado, teve, para a maioria dos gotejadores, efeito contrário ao esperado, resultando no aumento do entupimento.

Figura 82 – Coeficiente de variação de vazão dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de cal hidratada

Os gotejadores apresentaram a exceção dos modelos 8, 11 e 12, baixos coeficientes de variação no decorrer das aplicações com cal hidratada. Entretanto, a aplicação de ácido gerou aumento do coeficiente de variação e a ocorrência de picos de variação.

Figura 83 – Coeficiente de variação de vazão dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de cal hidratada

Com relação à uniformidade de distribuição (UD) inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação, para os modelos 1, 2, 3 e 4, observou-se porcentagens de 11,21; 3,39; 30,22 e -0,70 %, Para esses mesmos modelos de emissores, seguindo-se a seqüência anterior, quando se relacionou a UD após 360 h de irrigação com a da 1ª leitura após aplicação de cal hidratada observou-se porcentagens de 5,15; 3,18; 2,36 e 0,77 (Figura 84).

Para os modelos 5, 8, 9, 10, 11 e 12, quando se comparou a UD inicial (gotejador novo) e com a da 12ª irrigação, observou-se porcentagens de 4,55; 24,55; 4,16; -5,84; 9,49 e 16,57 %, respectivamente. Para esses mesmos modelos de emissores, e seguindo-se a seqüência anterior, quando se relacionou a UD após 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação de cal hidratada, observou-se que as porcentagens foram de 0,36; -1,01; 0,06; 2,37; 0,51 e -0,19 %, respectivamente (Figura 84).

Figura 84 – Coeficiente de variação de vazão dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de cal hidratada

Com relação aos modelos 6, 7, 14, 18, 25 e 26, quando se comparou a UD inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação, observaram-se as seguintes porcentagens de variação 2,47; 0,92; 8,23; 7,32; 3,53 e 4,76 %. Seguindo-se a sequência anterior de gotejadores, quando se

relacionou a UD após 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação de cal hidratada, foram obtidas porcentagens de 0,99; -0,33; 8,23; 7,32; 3,53 e 4,76 %, respectivamente (Figura 84).

A variação na uniformidade de distribuição inicial (gotejador novo) e na 12ª irrigação para os modelos 15, 16, 17 e 19 apresentou valores de 9,60; 83,73; 40,46 e 31,28 %. Já, quando se relacionou a UD após 360 h de irrigação com a 1ª leitura após aplicação de cal hidratada, observou-se porcentagens de -1,73; 1,75; 2,78 e -7,91 %, respectivamente (Figura 85).

Já os modelos 13, 20, 21, 22, 23 e 24 apresentaram porcentagens de 6,15; 5,91; 22,53; 0,62; 3,83 e 0,17 %, entre o início e a 12ª aplicação (Figura 85).

Figura 85 – Uniformidade de distribuição dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de cal hidratada

2.3.14 Dinâmica do entupimento de gotejadores com água de elevado fitoplâncton e aplicação de cloro para desobstrução

A água do lago artificial utilizada nesse ensaio, foi enquadrada, de acordo com a resolução do CONAMA 357/2005, como não potável, pois não está de acordo com os padrões fixados quanto ao exame bacteriológico. De acordo com essa resolução a amostra atende aos padrões microbiológicos para águas doces da classe 2, categoria essa que pode ser destinada: a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, barcos e mergulho; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e) à aquicultura e a atividade de pesca. Os padrões microbiológicos para águas dessa categoria estipulam que *E. Coli* ou coliformes termotolerantes não devem exceder um limite de $1,0 \times 10^3/100\text{mL}$. A análise revelou carência de fósforo (Tabela 7) o que indica que a matéria orgânica não está estabilizada, ou seja, há presença de microrganismos atuando no sistema. Ravina et al. (1992) observaram que o tipo de água influencia no entupimento dos gotejadores. No entanto, atribuiu essa diferença ao tratamento preventivo de controle de obstruções feito durante o ciclo, usando ácido nítrico e clorídrico.

Os percentuais de redução de vazão, determinados no ensaio, encontram-se próximos daqueles encontrados por Oron, Gedaliah e Zur (1979), que obtiveram 29 %, utilizando água residuária. Sagi, Paz e Ravina (1995) encontraram reduções de até 38 %, em relação à vazão inicial, causadas por mucilagem do protozoário *Epystilys balanarum*, com reduções de até 57 % na área de passagem de água do emissor. Nakayama, Bucks e French (1977) observaram reduções de vazão de 25 % a 50 %, causadas principalmente por mucilagem de bactéria, não identificada pelos autores, em gotejadores com dois anos de funcionamento.

Os gotejadores responderam diferentemente a utilização da água residuária, sendo que alguns apresentaram clara tendência de diminuição de vazão, enquanto que outros apresentaram picos de aumento de vazão (Figura 86 e 87).

A análise da água do lago artificial da ESALQ/USP constatou que o teor de Fe presente na água era de $0,75 \text{ mg L}^{-1}$, o que pode contribuir para a redução da vazão em alguns emissores. Matsura, Testezlaf e Almeida Neto (1989) citam em seu trabalho que a ferrugem (limo ferroso)

pode desenvolver-se pela ação de bactérias ferruginosas que infectam a água, mesmo que o conteúdo de ferro na água seja baixo (menos de 1 mg L^{-1}).

Figura 86 – Vazão relativa dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 17, 18, 25 e 26 após utilização de água com elevado fitoplâncton

Figura 87 – Vazão relativa dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de água com elevado fitoplâncton

Notou-se um maior entupimento no modelo 14, o que pode ser devido ao maior percurso de caminhamento da água (129 mm), aliado a uma pequena área de filtragem. O longo percurso pode ter favorecido o desenvolvimento de mucilagem ou um processo contínuo de deposição de material em suspensão na parte interna do emissor, determinando a uniformidade com que se deu a redução de vazão ao longo do período do ensaio. Resende (1999) trabalhou com cinco modelos de gotejadores e dentre eles estava este modelo, o mesmo observou que com o passar das horas de irrigação, com água enriquecida com sete diferentes gêneros de bactérias e verificou que houve um maior entupimento do emissor, o que foi atribuído ao longo percurso de passagem da água. Puig-Bargués et al. (2005) observaram, a partir de imagens feitas com microscópio eletrônico de varredura, depósitos de material biológico proveniente de tratamento secundário de água residuária que estavam ocasionando entupimento em diferentes modelos de emissores. Adin e Sacks (1987) citados por Puig-Bargués et al. (2005) observaram que as partículas que causam entupimento de emissores possuem diferentes formas e dimensões, mas o tamanho delas oscila

entre 0,5 e 30 μm . Já as imagens feitas por Puig-Bargués et al. (2005) mostram massas densas de origem microbiana com até 500 μm (Figura 88).

Figura 88 – Porcentagem de entupimento dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de água com elevado fitoplâncton

De acordo com Cararo (2004), o regime turbulento dos emissores reduz o risco das sedimentações sendo uma das razões pelas quais eles são utilizados atualmente, pois para o regime turbulento supõe-se certa ação autolimpante, o que não é perfeitamente verdadeiro quando se trata de crescimento bacteriano e formação de biofilme, que tem propriedade aderente aos materiais plásticos constituintes da tubulação e dos gotejadores.

Figura 89 – Porcentagem de entupimento dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de água com elevado fitoplâncton

Figura 90 – Coeficiente de variação de vazão dos emissores 1, 2 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de água com elevado fitoplâncton

Bucks, Nakayama e Gilbert (1979) afirmaram que, para ser utilizada sem restrição na irrigação, a água deve apresentar concentração de ferro menor que $0,1 \text{ mg L}^{-1}$ e que a utilização de águas com teor de ferro maior $1,5 \text{ mg L}^{-1}$ em sistemas de irrigação por gotejamento, possui severas restrições, uma vez que apresentam alto risco de entupimento de gotejadores. Sendo o cloro e os ácidos os produtos mais utilizados, tanto como medida preventiva quanto para

recuperar emissores obstruídos (MEYER, 1988; HILLS; NAWAR; WALLER, 1989; SCHISCHA et al., 1997; RESENDE, 1999; TEIXEIRA, 2006).

Figura 91 – Coeficiente de variação de vazão dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de água com elevado fitoplâncton

Figura 92 – Uniformidade de distribuição dos emissores 1, 2, 3, 4, 5, 8, 9, 10, 11, 12, 6, 7, 14, 18, 25 e 26 após utilização de água com elevado fitoplâncton

Figura 93 – Uniformidade de distribuição dos emissores 15, 16, 17, 19, 13, 20, 21, 22, 23 e 24 após utilização de água com elevado fitoplâncton

Observou-se que a aplicação de cloro após a 8ª irrigação foi eficiente para alguns modelos, porém em alguns modelos houve um aumento da vazão do CV e UD. Nakayama et al. (1977) obtiveram sucesso utilizando hipocloritos e ácidos, porém Schischa et al. (1997) verificaram que a cloração controlou o entupimento, mas o uso de grandes quantidades de cloro prejudicou a capacidade de regulação de vazão e pressão das membranas elásticas dos emissores.

Padmakumari e Sivanappan (1985) utilizaram tratamento químico com hipoclorito de sódio a 500 mg L^{-1} , sulfato de cobre a 1 % ou ácido clorídrico a 2 %, e concluíram que o tratamento com hipoclorito de sódio foi o mais efetivo para aumentar a vazão dos emissores. Nakayama, Bucks e French (1977), estudando emissores com 25 % a 50 % de redução de vazão em campo, observaram que a utilização de cloro, na concentração de 100 mg L^{-1} de cloro livre por 24 h e adição de ácido sulfúrico para baixar o pH para 2, permitiram a recuperação da vazão

de emissores a um nível de aproximadamente 95 % da vazão inicial. Por outro lado Souza, Cordeiro e Costa (2006) verificaram que, em função do tratamento químico (50, 100, e 150 mg L⁻¹ de cloro livre), 66, 55 e 89 % dos gotejadores se encontravam na faixa de 90 a 110 % da vazão nominal após quatro aplicações do produto.

Gilbert e Ford (1986) citam que o uso de superclorações de até 1000 mg L⁻¹, para a recuperação de emissores parcialmente entupidos, pode causar riscos de injúrias às raízes das plantas e danos à membrana de borracha natural de emissores autocompensantes. O que está de acordo com Teixeira (2006), que trabalhando com aplicação dinâmica de 100 mg L⁻¹ de cloro livre, observou que após 2688 h de aplicação, as membranas de alguns modelos apresentaram aumento em seu volume, agravando assim o entupimento. Esse mesmo autor trabalhando com aplicação de ácido nítrico com pH igual a 2, com aplicações por 12 h, observou danos na membrana de compensação de emissores com posterior redução da vazão relativa ao final do experimento.

3 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos permitiram estabelecer às seguintes conclusões:

- a. Há diferenças marcantes entre os modelos de emissores testados quanto ao seu desempenho sob diferentes ISL, tanto na susceptibilidade ao entupimento, quanto na variação do coeficiente de fabricação. Adequações na arquitetura ou no processo de fabricação dos gotejadores avaliados podem minimizar tanto a obstrução como os efeitos ocasionados por ela;
- b. O desempenho dos emissores em irrigação localizada teve elevada correlação com a existência ou não de mecanismo de compensação de vazão. Emissores convencionais mostraram-se mais estáveis que os autocompensantes nos ensaios;
- c. O entupimento parcial foi preponderante, em relação ao entupimento total;
- d. Os parâmetros de redução de vazão e de uniformidade não se mostram necessariamente relacionados;
- e. Houve diferenças dos gotejadores avaliados quanto à resposta ao número de aplicações e ácidos utilizado, sendo que o HNO_3 apresentou resultados mais positivos para maioria dos modelos;
- f. Os ácidos nítrico, clorídrico e sulfúrico aplicados, induziram o entupimento de alguns emissores e, em alguns modelos, causaram o aumento de vazão;
- g. Com a utilização de água com elevado fitoplâncton pode-se verificar que comprimentos de passagem de água longos, presença de regiões com regime laminar, pequenas vazões, ineficiência de mecanismo autolimpante, pequena velocidade da água na linha e seções estreitas favoreceram ao entupimento pelo uso dessa água;
- h. A cloração não se mostrou eficiente para o tratamento dos emissores utilizados com água de elevada quantidade de fitoplâncton .

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, W.F. **Aplicação de água carbonatada em abobrinha em solo com e sem cobertura plástica**. Piracicaba, 2002. 86 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Emissores para sistemas de irrigação localizada**: avaliação das características operacionais. São Paulo, 1986. 7 p. (PNBR 12: 02-08-021).

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H.S. Gheyi, J.F. de Medeiros e F.A.V. Damasceno. Campina Grande: 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. 625 p.

BOMAN, B.; ONTERMAA, E. Citrus microsprinkler clogging: costs, causes, and cures. **Proceedings of the Florida State for Horticultural Society**, Gainesville, v. 107, p. 39 – 47, 1994.

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.

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. Water quality and distribution uniformity in drip/trickle irrigation systems. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Amsterdam, v. 70, p. 355-365, 1998.

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.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **ITEM. Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, n. 54, p. 43-58, 2002.

COELHO, R.D.; FARIA, L.F.; MÉLO, R.F. Variação de vazão de gotejadores de fluxo normal enterrado para a irrigação do citrus. **Revista Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 2006.

CORDEIRO, E.A. **Influência do tratamento de água ferruginosa no desempenho de sistema de irrigação por gotejamento**. 2002. 92 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

CORDEIRO, E.A.; VIEIRA, G.H.S.; MANTOVANI, E.C. Principais causas de obstruções de gotejadores e possíveis soluções. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, n. 6, p. 41, mar. 2003.

D'ALBUQUERQUE JÚNIOR, B.S. **Efeito de aplicação de CO₂ na água de irrigação em diferentes fases fenológicas da cultura do melão (*Cucumis melo* L.)**. 2003. 65 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

DIAS, N.S.; OLIVEIRA, M.V.A.M.; COELHO, R.D. Resistência de diferentes tipos de tubogotejadores ao entupimento por precipitação química de cálcio. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. Goiânia: SBEA, 2003. 1 CD-ROM.

ENOCH, H.Z.; OLESEN, J.M. Plant response to irrigation with water enriched with carbon dioxide. **New Phytology**, New York, v. 125, n. 54, p. 249-258, 1993.

FONSECA, T.G. **Produção de mudas de hortaliças em substratos de diferentes composições com adição de CO₂ na água de irrigação**. 2001. 72 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2001.

GILBERT, R.G.; FORD, H.W. Operational principles/emitter clogging. In: NAKAYAMA, F.S.; BULKS, D.A. **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier Science, 1986. chap. 3, p. 142-163.

GILBERT, R.G.; NAKAYAMA, 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.; NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A.; FRENCH, O.F.; ADAMSON, K.C. Trickle irrigation: emitter clogging and flow problems. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 3, p. 159, 1981.

GIRÃO, A.R.; DUTRA, I.; SOUZA, F. Área irrigada e métodos de irrigação no estado do Ceará, segundo o Censo Agropecuário de 1995-1996. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 161-165, 2001.

HILLS, J.D.; NAWAR, F.M.; WALLER, P.M. Effects of chemical clogging on drip-tape irrigation uniformity. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 32, n. 4, p. 1202-1206, 1989.

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

KOEGELENBERG, F.; REINDERS, F. **Performance of drip irrigation systems under field conditions**. ARC, Institute for Agricultural Engineering, 2002. 14 p. Disponível em: <<http://www.wca-infonet.org/servlet/BinaryDownloaderServlet?filename=Documents/8723.Performanceofdripirrigation.pdf>>. Acesso em: 10 maio 2007.

LANGELIER, W.F. The analytical control of anticorrosion water treatment. **Journal of the American Water Works Association**, Denver, v. 28, p. 1500-1521, 1936.

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

LOIOLA, M.L.; SOUZA, F. Estatística sobre a irrigação no Brasil segundo o Censo Agropecuário 1995-1996. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n.1, p. 171-180, 2001.

MAIA, C.E.; MORAIS, E.R.C.; OLIVEIRA, M. Estimativa de carbonato de cálcio aplicado via água de irrigação nas regiões da Chapada do Apodi e Baixo Açu, RN. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 71-75, 2001.

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

MATSURA, E.E.; TESTEZLAF, R.; ALMEIDA NETO, J.A. Perda de carga nos filtros de areia e tela do sistema de irrigação por gotejamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 18., 1989, Recife. **Anais ...** Recife: SBEA, 1989. p. 584-607.

MEDEIROS, J.F. **Qualidade de água de irrigação e evolução da salinidade nas propriedades assistidas pelo GAT nos Estados do RN, PB e CE**. 1992. 173 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1992.

MEDEIROS, J.F.; LISBOA, R.A.; OLIVEIRA, M.; SILVA JÚNIOR, M.J.; ALVES, L.P. Caracterização das águas subterrâneas usadas para irrigação na área produtora de melão da Chapada do Apodi.. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 3, p. 469-47, 2003.

MEYER, J.L. cleaning drip irrigation systems. In: IRRIGATION ASSOCIATION MEETING, 1988, Los Angeles. **Proceedings ...** p. 41-43.

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

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

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.

OLIVEIRA, A.M.S.; PORTO FILHO, F.Q.; MEDEIROS, J.F.; COSTA, M.C. Caracterização hidráulica do tubogotejador Hidrodrip II. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 483-486, 2000.

ORON, G.; GEDALIAH, S.; ZUR, B. Stormwater and reclaimed effluent for trickle irrigation. **Journal of Irrigation and Drainage Division**, Davis, v. 108, n. 2, p. 115-126, 1979.

PADMAKUMARI, O.; SIVANAPPAN, R.K. Study on clogging in drip systems. In: INTERNATIONAL DRIP/TRICKLE IRRIGATION CONGRESS, 3., 1985, Fresno. **Proceedings ...** St. Joseph: ASAE, 1985. p. 80-83.

PARRA, I.R.V. Fertilizantes solúveis e fertirrigação em algumas fruteiras no Chile. In: _____. **Fertirrigação: flores, frutas e hortaliças**. Guaíba: Agropecuária, 2001. cap. 5, p. 163-200.

PARCHOMCHUK, P. Temperature effects on emitter discharge rates. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 19, n. 4, p. 690-692, 1976.

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

PINTO, J.M.; SOARES, J. M. **Fertirrigação: adubação via água de irrigação**. Petrolina: EMBRAPA, 1990. 16 p.

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

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3.ed. Madrid: Mundi Prensa, 1996. 513 p.

PUIG-BARGUÉS, J.; ARBAT, G.; BARRAGÁN, J.; CARTAGENA, F. R. de. Hydraulics performance of drip irrigation subunits using WWTP effluents. **Agricultural Water Management**. 2005. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/agwat>>. Acesso em: 18 jun.2007.

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**. 1999. 77 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.

RESENDE, R.S. **Intrusão radicular e efeito de vácuo em gotejadores enterrados (irrigação subsuperficial)**. 2003. 125 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2003.

RESENDE, R.S.; COELHO, R.D.; PIEDADE, S.M.S. Suscetibilidade de gotejadores ao entupimento de causa biológica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 368-375, 2000.

RESENDE, R.S.; CASARINI, E.; FOLEGATTI, M.V.; COELHO, R.D. Ocorrência de entupimento de origem biológica em sistema de irrigação por gotejamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 5, n. 1, p. 156-160, 2001.

RIBEIRO, M.C. **Estudo sobre racionalização do uso de energia no Brasil**. 2003. 142 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

ROBLES, W.G.R. **Dióxido de carbono via fertirrigação em batateira (*Solanum tuberosum* L.)**. 2003. 160 p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

SAGI, G.; PAZ, E.; RAVINA, I. Clogging of drip irrigation systems by colonial protozoa and sulfúrbactéria. In: INTERNATIONAL MICROIRRIGATION CONGRESS, 5., 1995, Orlando. **Proceedings ...** St. Joseph: ASAE, 1995. p. 250-254.

SANTOS, J.R.K. **Estudo sobre a corrosão causada por águas brandas de caráter ácido em sistemas de distribuição de água de abastecimento**. 1995. 231 p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1995.

SCHISCHA, A.; RAVINA, I.; SAGI, G.; PAZ, E.; YECHIELY, Z.; ALKON, A.; SCHRAMM, G.; SOFER, Z.; MARCU, A.; LEV, Y. Drip irrigation with reclaimed effluent - the clogging problems. 'The platform trials' test filters and emitter sensitivity. **International Water and Irrigation Review**, Tel Aviv, v. 17, n. 3, p. 8-12, 1997.

SCHMIDT, M.V.V. **Características hidráulicas do tubogotejador “Queen Gil”**. 1995. 43 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

SILVA JÚNIOR, M. J. da; MEDEIROS, J. F. de; LISBOA, R.A.; ALVES, L.P.; NASCIMENTO, I.B. do; FIGUEIREDO, V.B.; OLIVEIRA, A.M.S. Avaliação do uso de ácidos no controle de pH de águas calcárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 39., 2000, Fortaleza. Fortaleza: UFC; SBEA, 2000. 1 CD-ROM.

SILVA JÚNIOR, M.J. da; MEDEIROS, J.F.; LEVIEN, S.L.A.; SOUSA NETO, E.R.; SOUZA, E.R.; DANTAS, D.C.; MOURÃO, A.C.; OLIVEIRA, J.C. Evolução e controle químico de obstruções em gotejadores em sistemas de irrigação com diferentes águas. **Caatinga**, Mossoró, v. 16, n. 1/2, p. 23-29, 2003.

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

SOLOMON, K. Global uniformity of trickle irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 28, n. 4, p. 1151-1158, 1985.

SOUZA, J.A.A. **Desempenho de sistema de irrigação por gotejamento e eficiência da insetigação com imidacloprid no controle do bicho-mineiro (*Perileuoptera coffeella*) no cafeeiro**. 2002. 47 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2002.

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**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 5-9, 2006.

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 Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

TESTEZLAF, R.; CAMPIONI, E.C. Comportamento hidráulico do tubogotejador “Queen Gil”. **Revista de Engenharia Agrícola**, Campinas, v. 13, n. 2, p. 29-38, 1993.

TESTEZLAF, R.; MATSURA, E.E.; ROSTON, D.M.; PAULA JÚNIOR, D.R.; PATERNIANI, J.E.; RIBEIRO, T.A.P. Potencialidade do uso de irrigação por gotejamento em propriedades agrícolas produtoras de hortaliças da região de Campinas – SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 10., 1994, Salvador. Salvador: ABI D, 1994. 1 CD-ROM.

VERMEIREN, I.; JOBLING, J.A. **Riego localizado**. Roma: FAO, 1986. 203 p. (Estudios FAO. Irrigacion e Drainage, 36).

VICENTE, M.R. **Manejo e análise técnica dos sistemas de irrigação do cafeeiro na região oeste da Bahia**. 2005. 70 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.

VILELA L.A.A.; RESENDE, R.S.; SOARES, A.J. Entupimento de gotejadores em decorrência de pulsos de partículas sólidas na malha hidráulica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 30., 2001, Foz de Iguaçu. Foz de Iguaçu: SBEA, 2001. 1 CD-ROM.

VILLAS BOAS, R.L.; BOARETTO, A.E.; VITTI, G.C. Aspectos da fertirrigação. In: _____. **Fertilizantes fluídos**. Piracicaba: POTAFOS, 1994. p. 283-308.

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

WU, I. P.; IRUDAYARAJ, J. M.; FENG, J.S. Plugging evaluation for a drip irrigation submain unit. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v. 88, n. 1, p. 2062-2088, 1988.

ZANINI, J.R.; BARRETO, A.K.G.; LA SCALA JÚNIOR, N. Taxa de emissão de CO₂ de um Latossolo fertirrigado com ácido fosfórico por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, n.1, p. 179-188, 2005.

ANEXOS

ANEXO A - Desenho dos gotejadores

Desenho dos gotejadores convencionais e autocompensantes

Naan tif PC; $Q = 1,6 \text{ L h}^{-1}$; $\varnothing$ nominal = 16 mm (Autocompensante)

Naan Paz; $Q = 2,0 \text{ L h}^{-1}$; $\varnothing$ nominal = 16 mm (Convencional)

Naan PC; $Q= 2,1 \text{ L h}^{-1}$; Ø nominal= 16 mm (Autocompensante)

Naan PC; $Q= 3,8 \text{ L h}^{-1}$; Ø nominal= 16 mm (Autocompensante)

Hydrogol; $Q= 3,0 \text{ L h}^{-1}$; Ø nominal= 17 mm (Convencional)

Ram; $Q = 2,3 \text{ L h}^{-1}$; $\varnothing$ nominal = 16 mm (Autocompensante)

Ram; $Q = 2,3 \text{ L h}^{-1}$; $\varnothing$ nominal = 17 mm (Autocompensante)

Hydro Pc; $Q = 2,0 \text{ L h}^{-1}$; $\varnothing$ nominal = 17 mm (Autocompensante)

Hydro Pc; $Q = 2,2 \text{ L h}^{-1}$; $\varnothing$ nominal = 17 mm (Autocompensante)

Hydro Pc; $Q=2,2 \text{ L h}^{-1}$; $\varnothing$ nominal= 16/25 mm (Autocompensante)

Hydro Pc Nd; $Q=2,35 \text{ L h}^{-1}$; $\varnothing$ nominal= 16/40 mm (Autocompensante)

Hydro Drip; $Q=2,0 \text{ L h}^{-1}$; $\varnothing$ nominal= 16 mm (Autocompensante)

Carbo Drip; $Q=2,0 \text{ L h}^{-1}$; $\varnothing$ nominal= 17 mm (Autocompensante)

Tiran= 2,0 L h⁻¹; Ø nominal= 16 mm (Convencional)

Twin Plus= 1,8 L h⁻¹; Ø nominal= 17,5 mm (Autocompensante)

Vip Line= 3,6 L h⁻¹; Ø nominal= 16 mm (Autocompensante)

Irridrip Plus= 2,5 L h⁻¹; Ø nominal= 16 mm (Autocompensante)

Super Typhoon= 2,0 L h⁻¹; Ø nominal= 16 mm (Convencional)

Azudline= 1,4 L h⁻¹; Ø nominal= 17 mm (Convencional)

Drip In= 2,5 L h⁻¹; Ø nominal= 17 mm (Autocompensante)

Petrodrip= 1,5 L h⁻¹; Ø nominal= 16 mm (Convencional)

Carbo Drip Cd/Ac= 2,2 L h⁻¹; Ø nominal= 16 mm (Convencional)

Irriloc= 1,1 L h⁻¹; Ø nominal= 16,4 mm (Autocompensante)

Queen Gil= 0,4 L h⁻¹; Ø nominal= 16,5 mm (Convencional)

Drip Net= 1,6 L h⁻¹; Ø nominal= 16 mm (Autocompensante)

Uniran= 1,6 L h⁻¹; Ø nominal= 16 mm (Autocompensante)

ANEXO B - Procedimentos para o cálculo de aplicação de ácido

Determinou-se em laboratório, mediante curva de titulação, o fator ácido (f), que é o número de meq/L, necessário para levar o pH da água, a um pH desejado, que normalmente fica próximo a 6,5. Determinou-se o fator “f” através do *Índice de Saturação de Langelier* (ISL) eq. 1 a 15.

$$ISL = pH - pHs \quad (1)$$

Sendo:

pH=pH da água de irrigação;

pHs=pH teórico que a água alcançaria em equilíbrio com o CaCO₃.

Onde:

$$pHs = (pK_2' - pK_s') + pCa + pAlc \quad (2)$$

Em que:

K₂' e K_s' - são respectivamente, as constantes da segunda dissociação do ácido carbônico e o produto de solubilidade do carbonato de cálcio. Ambos dependem do teor total de sólidos solúveis e da temperatura.

pCa - cologarítimo da concentração molar de Ca. Se a concentração de cálcio for em mmol/L, pode-se adotar:

$$pCa = 3,3 - \log(Ca) \quad (3)$$

pAlc - cologarítimo da alcalinidade total expressa em equivalentes de (CO₃⁼ + HCO₃). Sendo a concentração em mmol/L, usou-se a expressão:

$$pAlc = 3,0 - \log(HCO_3 + CO_2) \quad (4)$$

$pK_2' - pK_s'$ - determinou-se a partir da concentração (Na+Ca+Mg), em mmol_c/L. Sendo que os valores valem para uma temperatura de 25°C. Para faixa de 15 a 40°, o valor deve ser aumentado em 1 % para cada 1 °C reduzido abaixo de 25 °C, ou diminuído em 1 % para cada 1 °C incrementado acima de 25 °C.

Segundo LIMA (1997), pode-se estimar a partir da CE, em dS/m, pela seguinte expressão:

$$pK_2' - pK_s' = 2,026 + 0,5092 \left[\frac{0,45\sqrt{CE}}{1 + 0,225\sqrt{CE}} + \frac{0,113\sqrt{CE}}{1 + 0,163\sqrt{CE}} \right] \quad (5)$$

Valores de ISL positivos indicam tendência da água em formar precipitados químicos, então se corrigiu o pH da água para que o ISL tornasse negativo. Para tanto, usou-se a seguinte equação:

$$pAlcc = pAlc + ISL \quad (6)$$

$$Alc_c = 10^{-pAlc_c} \quad (7)$$

onde,

Alcc = alcalinidade corrigida em mmol_c L⁻¹

Dessa forma, como o ácido permite a eliminação da alcalinidade da água, calculou-se a alcalinidade a eliminar (Alce), como segue:

$$Alc_e = Alc - Alc_c \quad (8)$$

onde:

Alc = CO₃ + HCO₃ da água de irrigação, em mmol_c L⁻¹.

Portanto, o fator ácido (f) adicionado a água de irrigação, é igual a valor da alcalinidade a ser eliminada, assim sendo tem-se que:

$$f \text{ (mmol}_c \text{ L}^{-1}) = Alc_e \quad (9)$$

Determinado o fator ácido (f), calculou-se a vazão da unidade operacional ou do sistema de irrigação (Qs), conforme equação 10.

Como o tempo de irrigação ou de injeção é conhecido, e tendo-se a vazão do sistema (Qs), foi possível determinar o volume de ácido (Va), a ser utilizado no tratamento, conforme equação abaixo:

$$V_a = \frac{Q_s \times f}{1000 \times N} \times t \quad (10)$$

onde,

N = normalidade do ácido (mmol_c L⁻¹)

t = tempo de irrigação ou injeção

Determinou-se o volume total de água (Vt), em litros, que comporta toda a tubulação a ser tratada. O resultado foi multiplicado por 2,5 (fator de segurança), tal como é apresentado na Equação 11:

$$V_t = \frac{\pi \times d^2}{4} \times L \times 2500 \quad (11)$$

onde,

d = diâmetro interno dos tubos (m)

L = comprimento da tubulação (m)

Calculou-se então, o volume de ácido (Va), em litros, necessário para realizar o tratamento. O Va pode ser calculado conforme equação abaixo:

$$V_a = \frac{V_t \times f}{1000 \times N} \quad (12)$$

onde,

N = normalidade do ácido

Alcc = alcalinidade corrigida em mmolc/L

Dessa forma, como o ácido permite a eliminação da alcalinidade da água, calculou-se a alcalinidade a eliminar (Alce), como segue:

$$Alce = Alc - Alcc \quad (13)$$

Onde:

$Alc = CO_3 + HCO_3$ da água de irrigação, em mmolc/L.

Portanto, o fator ácido (f) adicionado a água de irrigação, é igual a valor da alcalinidade a ser eliminada, assim sendo tem-se que:

$$f \text{ (mmolc/L)} = Alce \quad (14)$$

Como o tempo de irrigação ou de injeção é conhecido, e tendo-se a vazão do sistema (Q_s), foi possível determinar o volume de ácido (V_a), a ser utilizado no tratamento (Equação 15):

$$V_a = \frac{Q_s \times f}{1000 \times N} \times t \quad (15)$$

onde,

N = normalidade do ácido ($\text{mol}_c \text{ L}^{-1}$)

t = tempo de irrigação ou injeção

ANEXO C

Tabela 19 - Análise química da água do laboratório de irrigação - ESALQ/USP, data da coleta: 13/10/2005, utilizada para o preparo das águas com os diferentes *índices de Langelier*

Análise da água do laboratório de irrigação - ESALQ/USP		
Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade ($2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)	mg L^{-1}	35,8
Cloreto (Cl^-)	mg L^{-1}	33,9
Nitrato (N-NO_3)	mg L^{-1}	20,5
Sulfato (SO_4^{2-})	mg L^{-1}	149,3
Fósforo (P)	mg L^{-1}	0,05
Nitrogênio Amoniacal (N-NH_3)	mg L^{-1}	0,11
Sódio (Na^+)	mg L^{-1}	44,0
Potássio (K^+)	mg L^{-1}	7,1
Cálcio (Ca^{2+})	mg L^{-1}	33,2
Magnésio (Mg^{2+})	mg L^{-1}	9,2
Ferro (Fe)	mg L^{-1}	0
Cobre (Cu)	mg L^{-1}	0,01
Manganês (Mn)	mg L^{-1}	0,09
Zinco (Zn)	mg L^{-1}	1,14
Boro (B)	mg L^{-1}	0
Alumínio (Al)	mg L^{-1}	0
Cor aparente	PtCo	4
Turbidez	FTU	4
Sedimentos em suspensão	mg L^{-1}	6,0
Condutividade elétrica (CE)	mS cm^{-1}	0,37
pH		7,5
Gás carbônico (CO_2)	mg L^{-1}	1,9
Acidez (CaCO_3)	mg L^{-1}	6,5
Dureza total (CaCO_3)*	mg L^{-1}	120,6

*Dureza total calculada com base no equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3), segundo Franson (1995): $2,497 [\text{Ca}, \text{mg L}^{-1}] + [\text{Mg}, \text{mg L}^{-1}]$. Franson, M.A.H. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, 19ª Edição, 1995.

ANEXO D

Tabela 20 - Análise química da água do laboratório de irrigação - ESALQ/USP, data da coleta: 24/01/2006, utilizada para o preparo das águas com os diferentes *índices de Langelier*

Análise da água do laboratório de irrigação - ESALQ/USP		
Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade ($2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)	mg L^{-1}	35,6
Cloreto (Cl^-)	mg L^{-1}	30,7
Sódio (Na^+)	mg L^{-1}	45,0
Cálcio (Ca^{2+})	mg L^{-1}	50,5
Magnésio (Mg^{2+})	mg L^{-1}	2,9
Condutividade elétrica (CE)	mS cm^{-1}	0,42
pH		7,2
Gás carbônico (CO_2)	mg L^{-1}	3,2
Acidez (CaCO_3)	mg L^{-1}	1,9
Dureza total (CaCO_3)*	mg L^{-1}	137,9

*Dureza total calculada com base no equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3), segundo Franson (1995): $2,497 [\text{Ca}, \text{mg L}^{-1}] + [\text{Mg}, \text{mg L}^{-1}]$. Franson, M.A.H. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, 19ª Edição, 1995.

ANEXO E

Tabela 21 - Análise química da água do laboratório de irrigação - ESALQ/USP, utilizada nos Ensaio de 9 a 11 (Falta colocar análise microbiológica)

Análise da água do laboratório de irrigação - ESALQ/USP		
Parâmetro	Unidade	Resultado
Alcalinidade ($2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$)	mg L^{-1}	49,0
Cloreto (Cl^-)	mg L^{-1}	30,5
Sódio (Na^+)	mg L^{-1}	37,0
Cálcio (Ca^{2+})	mg L^{-1}	66,1
Magnésio (Mg^{2+})	mg L^{-1}	4,3
Ferro (Fe)	mg L^{-1}	0,08
Condutividade elétrica (CE)	mS cm^{-1}	0,40
pH		7,4
Gás carbônico (CO_2)	mg L^{-1}	3,1
Acidez (CaCO_3)	mg L^{-1}	8,2
Dureza total (CaCO_3)*	mg L^{-1}	182,7

*Dureza total calculada com base no equivalente de carbonato de cálcio (CaCO_3), segundo Franson (1995): $2,497 [\text{Mg}, \text{mg L}^{-1}]$. Franson, M.A.H. Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, 19ª Edição, 1995.

ANEXO F - PRIMEIRA FASE

Tabela 22 A – Desvio padrão ($\hat{s}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf), uniformidade de distribuição (UD), vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem, coeficiente de variação (CV) e uniformidade de distribuição após 360 h (UD 360 h), calculada para cada linha de gotejadores novos e após as 360 h de funcionamento do sistema com os diferentes ISL, correspondentes aos ensaios 1 e 2: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes por precipitados químicos de carbonato de cálcio e magnésio

Número/ISL= -2,268	Gotejador novo			Gotejador após 360 h de uso			
	$\hat{s}$	CVf	UD	Qr (%)	$\hat{s}$	CV	UD
1	0,027	2,336	97,308	75,364	0,208	23,542	77,157
2	0,038	1,648	98,044	87,026	0,022	1,093	98,773
3	0,041	1,966	97,939	100,532	0,085	4,087	95,329
4	0,145	3,711	95,618	101,228	0,153	3,854	95,654
5	0,097	3,118	96,677	83,897	0,059	2,254	97,446
6	0,066	2,770	96,952	98,151	0,144	6,182	93,246
7	0,079	3,651	92,040	93,275	0,055	2,709	97,612
8	0,114	5,451	95,184	91,587	0,106	5,552	95,795
9	0,104	5,038	94,363	94,356	0,104	5,302	94,326
10	0,059	2,498	97,636	95,214	0,073	3,240	96,837
11	0,161	7,057	92,058	91,809	0,238	11,350	88,679
12	0,061	2,606	97,580	84,053	0,056	2,840	96,264
13	0,048	1,714	98,069	86,200	0,125	5,132	94,230
14	0,055	2,197	97,663	89,797	0,059	2,613	97,435
15	0,074	4,113	95,593	79,368	0,125	8,736	90,883
16	0,384	11,428	86,868	82,227	0,435	15,755	81,440
17	0,045	1,652	98,143	90,966	0,173	6,968	91,542
18	0,148	5,994	92,486	86,465	0,087	4,076	95,843
19	0,084	4,935	95,000	103,123	0,104	5,916	93,049
20	0,071	2,580	96,858	95,984	0,078	2,979	96,354
21	0,093	5,167	94,544	83,185	0,091	6,037	93,795
22	0,119	5,248	94,242	99,162	0,126	5,599	93,546
23	0,050	3,631	97,248	88,149	0,132	10,962	94,557
24	0,040	5,884	93,710	117,134	0,403	50,859	61,895
25	0,052	3,425	96,524	107,016	0,109	6,671	95,106
26	0,062	4,012	95,970	99,418	0,103	6,669	95,690

Tabela 22 B - Desvio padrão ($\hat{s}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf), uniformidade de distribuição (UD), vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem, coeficiente de variação (CV) e uniformidade de distribuição após 360 h (UD 360 h), calculada para cada linha de gotejadores novos e após as 360 h de funcionamento do sistema com os diferentes ISL, correspondentes aos ensaios 1 e 2: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes por precipitados químicos de carbonato de cálcio e magnésio

Número/ISL= 0,469	Gotejador novo			Gotejador após 360 h de uso			
	$\hat{s}$	CVf	UD	Qr (%)	$\hat{s}$	CV	UD
1	0,041	3,610	96,123	87,927	0,030	3,027	96,985
2	0,027	1,243	98,549	89,799	0,025	1,257	98,826
3	0,028	1,326	98,702	96,550	0,085	4,229	95,901
4	0,113	2,898	96,567	98,820	0,119	3,080	96,235
5	0,133	4,373	95,474	87,052	0,064	2,398	97,062
6	0,070	3,024	96,880	97,019	0,052	2,306	97,813
7	0,153	6,795	93,306	90,913	0,095	4,622	95,605
8	0,030	1,351	98,348	91,618	0,092	4,496	96,613
9	0,070	3,231	96,930	88,889	0,069	3,567	96,430
10	0,063	2,636	97,375	92,128	0,039	1,759	98,061
11	0,073	3,162	96,384	91,895	0,092	4,358	95,564
12	0,039	1,639	98,431	86,553	0,018	0,896	99,046
13	0,040	1,399	98,431	82,016	0,035	1,511	98,512
14	0,052	2,111	97,679	88,352	0,055	2,517	97,259
15	0,078	4,325	95,491	92,562	0,064	3,816	95,647
16	0,394	11,824	86,357	78,824	0,338	12,859	86,799
17	0,053	1,971	97,973	92,942	0,163	6,487	92,137
18	0,096	4,201	94,975	89,001	0,097	4,773	94,319
19	0,083	4,905	94,995	89,645	0,196	12,910	88,890
20	0,087	3,226	96,789	95,155	0,112	4,396	94,941
21	0,064	3,808	97,007	91,806	0,125	8,118	94,747
22	0,080	3,473	96,063	95,936	0,070	3,165	96,940
23	0,019	1,548	98,212	73,906	0,441	47,448	63,629
24	0,014	2,475	90,081	93,369	0,120	23,132	84,308
25	0,041	2,637	96,827	105,354	0,126	7,631	94,293
26	0,025	1,603	98,185	103,513	0,099	6,218	94,808

Tabela 22 C - Desvio padrão ($\hat{s}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf), uniformidade de distribuição (UD), vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem, coeficiente de variação (CV) e uniformidade de distribuição após 360 h (UD 360 h), calculada para cada linha de gotejadores novos e após as 360 h de funcionamento do sistema com os diferentes ISL, correspondentes aos ensaios 1 e 2: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes por precipitados químicos de carbonato de cálcio e magnésio

Número/ISL= 1,156	Gotejador novo			Gotejador após 360 h de uso			
	$\hat{s}$	CVf	UD	Qr (%)	$\hat{s}$	CV	UD
1	0,033	2,784	96,720	77,26	0,067	7,345	91,951
2	0,036	1,610	98,065	85,72	0,028	1,456	98,298
3	0,361	16,476	92,689	96,57	0,246	11,641	91,874
4	0,110	2,733	96,768	102,77	0,293	7,110	93,107
5	0,201	6,716	93,734	87,54	0,068	2,607	96,855
6	0,082	3,486	96,900	97,92	0,164	7,122	92,114
7	0,055	2,612	97,217	98,30	0,063	3,019	97,002
8	0,051	2,454	97,521	93,50	0,056	2,852	97,359
9	0,111	5,154	94,546	91,71	0,087	4,405	95,572
10	0,050	2,047	97,752	93,71	0,069	3,044	97,178
11	0,102	4,403	95,489	95,88	0,092	4,185	96,122
12	0,087	3,763	95,859	79,52	0,402	21,771	81,805
13	0,081	2,739	96,767	80,61	0,033	1,392	98,346
14	0,077	3,145	96,502	88,36	0,040	1,879	98,087
15	0,045	2,487	97,337	93,38	0,053	3,157	96,637
16	0,277	8,302	92,159	91,75	0,299	9,786	89,493
17	0,115	4,127	95,619	93,06	0,169	6,501	93,420
18	0,136	5,734	93,465	86,48	0,047	2,286	97,427
19	0,047	2,665	97,248	83,36	0,088	5,980	93,197
20	0,112	4,310	94,992	98,58	0,124	4,840	94,381
21	0,052	3,074	96,929	88,69	0,104	6,878	93,015
22	0,084	3,629	95,441	96,43	0,185	8,276	91,112
23	0,049	3,918	94,880	96,71	0,185	15,389	92,929
24	0,025	4,662	93,846	93,91	0,224	43,992	58,967
25	0,038	2,357	97,478	90,47	0,643	43,966	63,724
26	0,091	5,958	96,042	96,84	0,132	8,989	91,701

Tabela 22 D - Desvio padrão ($\hat{s}$), coeficiente de variação de fabricação (CVf), uniformidade de distribuição (UD), vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem, coeficiente de variação (CV) e uniformidade de distribuição após 360 h (UD 360 h), calculada para cada linha de gotejadores novos e após as 360 h de funcionamento do sistema com os diferentes ISL, correspondentes aos ensaios 1 e 2: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes por precipitados químicos de carbonato de cálcio e magnésio

Número/ISL= 1,439	Gotejador novo			Gotejador após 360 h de uso			
	$\hat{s}$	CVf	UD	Qr (%)	$\hat{s}$	CV	UD
1	0,027	2,434	97,132	92,08	0,025	2,388	97,498
2	0,014	0,645	99,256	85,69	0,052	2,758	97,308
3	0,065	3,191	96,754	102,76	0,055	2,657	97,143
4	0,251	6,610	93,015	104,01	0,081	2,057	97,488
5	0,139	4,336	94,362	82,16	0,107	4,063	96,155
6	0,037	1,620	98,055	106,54	0,163	6,641	93,761
7	0,084	3,907	93,641	97,55	0,137	6,485	95,312
8	0,099	4,687	95,189	89,35	0,085	4,495	94,924
9	0,065	2,999	96,806	85,29	0,075	4,079	95,655
10	0,079	3,427	96,991	98,25	0,098	4,344	95,303
11	0,087	3,985	95,952	98,81	0,069	3,221	96,872
12	0,048	2,132	98,344	88,31	0,038	1,897	98,426
13	0,029	1,012	98,909	84,70	0,026	1,107	98,832
14	0,117	4,720	96,941	89,90	0,051	2,276	98,132
15	0,086	4,811	95,103	91,79	0,096	5,826	93,761
16	0,181	5,505	93,902	90,31	0,240	8,085	92,242
17	0,048	1,751	97,566	95,53	0,098	3,713	95,736
18	0,096	4,123	94,816	78,27	0,762	41,711	65,675
19	0,064	3,708	96,546	88,40	0,121	8,003	93,563
20	0,102	3,856	95,633	97,25	0,103	3,974	95,687
21	0,086	5,116	94,943	90,60	0,065	4,301	95,981
22	0,109	4,524	94,149	94,93	0,113	4,946	94,351
23	0,020	1,592	98,352	73,85	0,441	47,448	63,629
24	0,022	4,220	96,083	99,62	0,120	23,132	84,308
25	0,046	2,902	96,486	105,29	0,126	7,631	94,293
26	0,027	1,768	97,890	103,65	0,099	6,218	94,808

Tabela 23 – Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem do gotejador após 240 h de funcionamento do sistema no ISL= -2,268 e após a primeira e segunda aplicação do HNO₃, correspondentes aos ensaios 3 e 4: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com aplicação contínua de HNO₃ por 12 h

Número/ISL= -2,268	Qr após 240h funcionamento (%)	Qr após 1ª aplicação HNO₃ (%)	Qr após 2ª aplicação HNO₃ (%)
1	90,505	92,558	92,558
2	80,647	85,560	80,259
3	104,792	103,485	100,000
4	103,862	104,373	101,944
5	85,153	88,213	85,636
6	99,538	97,773	99,034
7	97,098	94,519	95,486
8	85,516	62,859	94,790
9	96,044	68,114	97,299
10	98,391	96,781	87,802
11	95,007	60,622	93,254
12	86,746	89,696	85,592
13	80,715	104,600	79,370
14	87,525	84,775	85,931
15	99,945	96,950	101,498
16	98,898	89,759	28,699
17	85,004	92,794	90,710
18	83,596	77,333	83,071
19	92,280	91,750	89,334
20	93,319	92,990	97,846
21	87,736	87,736	80,411
22	98,985	98,588	90,556
23	85,589	64,448	83,906
24	81,536	51,108	85,820
25	108,787	111,344	106,033
26	100,970	100,194	98,448

Tabela 24 – Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem do gotejador após 240 h de funcionamento do sistema e com as cinco irrigações com sulfato de cálcio, correspondentes aos ensaios: 5 e 6: Monitoramento de entupimento em gotejadores convencionais e autocompensantes com utilização de sulfato de cálcio a partir de 240h de funcionamento do sistema

Número/ISL= -2,268	Qr após 240h funcionamento (%)	Qr da 1ª irrigação com CaSO₄	Qr da 2ª irrigação com CaSO₄	Qr da 3ª irrigação com CaSO₄	Qr da 4ª irrigação com CaSO₄	Qr da 5ª irrigação com CaSO₄
1	90,505	76,647	78,443	80,753	73,824	85,543
2	160,051	146,792	148,589	155,090	152,010	157,571
3	185,201	159,367	164,585	164,414	174,679	166,724
4	347,391	334,474	321,215	329,598	340,205	335,672
5	226,176	223,353	228,144	223,781	219,162	223,695
6	202,652	219,162	223,610	223,781	226,689	222,327
7	180,325	190,163	190,077	191,617	190,761	195,894
8	153,037	156,373	166,553	158,426	149,872	161,677
9	170,317	164,671	146,279	169,632	165,184	157,742
10	198,717	186,741	178,443	191,275	177,417	190,932
11	185,543	166,382	175,706	197,605	174,337	179,897
12	173,567	165,697	145,766	161,163	166,382	158,169
13	195,124	181,950	182,293	187,767	196,664	198,204
14	187,853	187,083	168,862	183,234	184,346	176,647
15	154,149	144,397	126,518	149,786	130,453	153,721
16	284,175	88,109	117,194	165,013	204,277	213,259
17	198,802	203,935	194,269	201,796	223,867	216,168
18	176,989	175,278	152,267	173,738	173,653	169,290
19	133,961	124,209	118,991	124,038	120,188	120,445
20	218,648	205,646	213,687	213,430	216,168	213,601
21	135,244	130,624	127,374	132,763	136,441	129,769
22	191,873	186,997	182,378	179,384	185,800	189,735
23	100,086	91,104	91,104	93,841	89,222	99,658
24	47,220	50,642	48,246	49,701	49,701	41,660
25	141,916	140,462	134,388	140,205	140,547	133,618
26	133,533	127,887	128,486	130,710	129,769	131,737

ANEXO G - SEGUNDA FASE

Tabelas 25 A, B e C correspondentes aos ensaios 7 e 8: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com HCl, HNO₃ e H₂SO₄

Tabela 25 A – Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem após 360 h de funcionamento do sistema e depois da 4ª leitura correspondente a 12ª aplicação do H₂SO₄, calculada para cada emissor do bloco que havia sido irrigado com ISL= -2,268

Número	Qr 360h de irrigação (%)	Qr após 1ª de H ₂ SO ₄ (%)	Qr após 2ª de H ₂ SO ₄ (%)	Qr após 3ª de H ₂ SO ₄ (%)	Qr após 4ª de H ₂ SO ₄ (%)
1	75,364	82,207	84,175	84,175	84,089
2	172,712	159,966	168,777	169,119	170,231
3	177,673	166,382	169,718	167,921	168,263
4	338,580	326,262	328,400	322,840	330,368
5	222,840	229,940	232,079	227,545	226,604
6	199,829	184,859	189,735	189,050	189,564
7	173,225	169,119	173,311	172,883	171,514
8	163,901	164,157	166,382	164,500	166,382
9	167,322	168,178	171,001	170,145	167,408
10	192,301	190,505	191,702	191,788	189,136
11	179,299	178,529	180,411	178,101	179,555
12	168,178	176,903	177,759	186,741	175,962
13	208,383	204,277	207,100	213,944	198,973
14	192,729	185,543	190,163	188,794	188,879
15	122,412	147,733	140,462	139,949	140,547
16	236,270	239,435	241,488	242,515	240,633
17	212,746	215,825	218,392	209,581	221,386
18	183,062	180,068	178,956	180,325	179,213
19	149,701	123,952	126,176	124,465	126,689
20	224,893	221,386	213,430	214,542	217,194
21	128,229	131,822	132,164	133,533	134,303
22	192,216	184,260	189,991	190,505	189,478
23	103,080	100,257	98,802	96,578	98,717
24	67,836	49,957	51,497	51,411	41,574
25	136,784	129,256	141,317	141,146	140,376
26	128,743	138,666	131,651	131,565	131,565

Qr 360 h de irrigação (L h⁻¹) = gotejador entupido com 360 h de irrigação ou 15ª turno

Qr após 1ª de = após aplicação do H₂SO₄ pela 3ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (A1, A2 e A3)

Qr após 2ª de = após aplicação do H₂SO₄ pela 6ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (A4, A5 e A6)

Qr após 3ª de = após aplicação do H₂SO₄ pela 9ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (A7, A8 e A9)

Qr após 4ª de = após aplicação do H₂SO₄ pela 12ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (A10, A11 e A12)

Tabela 25 B – Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem após 360 h de funcionamento do sistema e depois da 4ª leitura correspondente a 12ª aplicação do HCl, calculada para cada emissor do bloco que havia sido irrigado com ISL= 0,469

Número	Qr 360h de irrigação (%)	Qr após 1ª de H ₂ SO ₄ (%)	Qr após 2ª de H ₂ SO ₄ (%)	Qr após 3ª de H ₂ SO ₄ (%)	Qr após 4ª de H ₂ SO ₄ (%)
1	87,927	110,324	87,139	73,141	84,427
2	171,741	167,017	164,654	168,591	169,554
3	176,290	168,066	172,791	174,016	175,241
4	337,008	339,983	342,082	341,645	343,307
5	231,759	238,408	238,845	239,283	233,596
6	196,500	199,388	201,400	198,600	195,451
7	179,440	179,528	176,990	177,428	174,628
8	179,790	180,227	174,541	172,878	176,728
9	168,679	171,304	177,515	174,103	171,216
10	193,526	194,051	196,763	197,288	194,751
11	184,514	183,640	187,402	185,914	186,352
12	177,953	186,002	183,902	183,990	183,290
13	204,287	218,110	217,498	215,748	216,360
14	190,464	190,814	196,238	194,051	199,738
15	146,982	146,107	136,658	137,970	144,882
16	229,921	270,516	283,290	274,891	274,016
17	220,035	215,048	221,085	215,573	218,985
18	177,690	180,927	183,552	182,327	183,202
19	132,546	132,633	133,246	133,246	131,584
20	224,672	224,322	227,559	225,547	230,271
21	134,296	133,071	127,384	127,734	130,271
22	194,138	190,989	191,426	196,763	195,276
23	95,888	97,638	100,962	98,250	99,125
24	44,357	38,583	41,295	47,682	49,256
25	145,144	138,583	138,408	147,419	146,194
26	129,221	147,419	146,107	136,745	135,608

Qr 360 h de irrigação (L h⁻¹) = gotejador entupido com 360 h de irrigação ou 15ª turno

Qr após 1ª de = após aplicação do HCl pela 3ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (B1, B2 e B3)

Qr após 2ª de = após aplicação do HCl pela 6ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (B4, B5 e B6)

Qr após 3ª de = após aplicação do HCl pela 9ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (B7, B8 e B9)

Qr após 4ª de = após aplicação do HCl pela 12ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (B10, B11 e B12)

Tabela 25 C – Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem após 360 h de funcionamento do sistema e depois da 4ª leitura correspondente a 12ª aplicação do HNO₃, calculada para cada emissor do bloco que havia sido irrigado com ISL= 1,156

Número	Qr 360h de irrigação (%)	Qr após 1ª de H ₂ SO ₄ (%)	Qr após 2ª de H ₂ SO ₄ (%)	Qr após 3ª de H ₂ SO ₄ (%)	Qr após 4ª de H ₂ SO ₄ (%)
1	77,257	76,831	80,068	79,131	81,346
2	161,584	166,695	162,436	162,947	167,206
3	177,768	177,939	178,109	178,279	178,279
4	350,937	351,193	352,726	341,993	345,741
5	222,572	224,361	225,383	226,917	236,797
6	196,678	189,267	190,034	189,693	192,078
7	176,831	168,399	170,698	167,291	167,717
8	166,695	166,440	165,332	162,862	168,058
9	167,717	164,991	166,525	167,291	165,162
10	194,293	188,586	193,101	194,378	195,400
11	188,245	184,157	180,664	184,157	184,242
12	157,411	177,853	175,383	173,765	165,588
13	203,322	206,899	203,918	203,492	201,278
14	183,560	186,797	181,431	189,608	191,567
15	144,208	144,549	137,223	137,138	139,608
16	260,477	270,102	257,240	266,610	281,005
17	221,550	214,310	210,733	212,266	214,225
18	174,361	184,497	178,024	183,220	184,838
19	124,617	128,365	129,131	131,090	135,690
20	218,739	220,784	218,910	218,228	220,954
21	128,194	128,450	129,642	130,239	134,753
22	190,801	182,283	182,964	184,412	186,712
23	102,641	92,334	93,441	96,593	98,722
24	31,601	35,520	37,990	38,501	40,971
25	141,567	139,864	138,756	139,693	139,949
26	125,383	134,583	135,349	137,564	140,119

Qr 360 h de irrigação (L h⁻¹) = gotejador entupido com 360 h de irrigação ou 15ª turno

Qr após 1ª de = após aplicação do HNO₃ pela 3ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (C1, C2 e C3)

Qr após 2ª de = após aplicação do HNO₃ pela 6ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (C4, C5 e C6)

Qr após 3ª de = após aplicação do HNO₃ pela 9ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (C7, C8 e C9)

Qr após 4ª de = após aplicação do HNO₃ pela 12ª vez de 5 minutos cada e 1 hora de descanso da solução na linha (C10, C11 e C12)

Tabela 26 - Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem após 360 h de funcionamento do sistema e após as quatro aplicações de CO₂, calculada para cada emissor, correspondentes aos ensaios 9 e 10: Desobstrução de gotejadores convencionais e autocompensantes com CO₂

Nº	Qr 360h	Qr após 360h + 58 dias parado	Qr após 1ª aplicação CO ₂ (%)	Qr após 2ª aplicação CO ₂ (%)	Qr após 3ª aplicação CO ₂ (%)	Qr após 4ª aplicação CO ₂ (%)	Qr após 5ª aplicação CO ₂ (%)	Qr após 6ª aplicação CO ₂ (%)
1	92,082	85,053	84,609	90,747	85,320	83,897	84,431	81,762
2	168,861	173,221	187,189	183,808	170,996	171,619	171,797	153,470
3	185,320	191,904	186,121	186,833	188,612	186,032	185,676	185,142
4	351,068	361,388	360,409	350,801	351,957	346,619	346,797	335,854
5	234,698	237,367	236,922	238,523	230,961	238,701	242,794	243,327
6	218,861	202,402	202,313	201,423	201,601	203,470	198,932	199,911
7	187,456	193,772	199,288	188,701	188,879	189,858	187,456	194,662
8	167,260	180,961	178,114	179,359	176,246	176,246	174,733	174,911
9	163,523	172,776	171,975	173,132	170,730	170,819	170,819	174,733
10	200,356	210,943	211,299	202,847	202,580	203,737	203,915	203,915
11	191,904	195,730	192,438	190,836	190,569	188,612	187,900	187,011
12	178,114	180,783	180,872	179,181	183,808	184,253	182,473	183,719
13	212,278	215,658	215,836	214,235	215,480	215,302	214,858	219,840
14	198,843	193,505	193,416	197,509	193,772	189,947	194,217	190,747
15	146,174	156,762	153,114	153,114	148,843	149,021	147,687	147,865
16	264,502	288,612	284,698	275,712	284,520	279,004	281,050	283,630
17	234,075	235,587	236,833	229,537	229,181	228,381	230,694	231,673
18	162,456	167,972	172,331	184,342	188,256	184,431	187,011	190,747
19	134,964	127,580	133,630	132,206	133,986	131,762	133,096	134,075
20	229,626	234,075	234,875	231,495	230,783	233,096	233,274	234,342
21	134,698	132,918	138,790	140,391	135,320	133,007	132,740	135,498
22	203,114	207,206	202,669	202,580	201,690	203,826	211,121	208,630
23	82,651	88,968	88,256	92,082	92,616	92,349	87,989	88,790
24	46,352	31,139	25,534	19,929	25,267	20,819	21,352	33,452
25	143,772	149,822	146,530	144,217	154,448	145,196	145,107	142,883
26	138,612	149,288	143,594	140,391	143,149	140,658	140,569	141,192

Qr após 360 h = vazão com 360 h de funcionamento do sistema

Qr 360 h + 58 dias parado= tempo em que o experimento ficou em repouso até o momento da aplicação do CO₂

ANEXO H - TERCEIRA FASE

Tabela 27 – Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem com 360 h de funcionamento do sistema, após as utilizações de carbonato de potássio e posterior tratamento com HNO₃, calculada para cada emissor, correspondente ao ensaio 11: Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de carbonato de potássio e posterior tratamento com HNO₃

Qr (%)													
Nº	360h	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª HNO ₃	10ª HNO ₃	11ª HNO ₃	12ª HNO ₃
1													
2	77,257	92,334	106,729	108,177	120,273	92,249	88,671	94,123	91,482	69,080	69,591	72,743	66,184
3	161,584	175,213	197,104	188,671	189,864	189,438	195,911	192,249	223,339	187,223	194,804	165,162	149,233
4	180,068	186,712	197,956	201,193	198,382	197,274	207,922	200,170	230,153	206,985	187,819	174,361	163,629
5	350,937	332,198	363,884	343,612	393,356	373,765	344,463	372,061	360,477	330,750	330,239	347,956	301,193
6	222,572	244,293	268,910	273,169	260,647	245,826	300,426	257,836	252,300	247,274	254,770	228,876	225,809
7	196,678	190,460	225,043	207,325	216,951	232,624	239,267	230,494	239,523	232,709	221,210	197,274	181,090
8	176,831	221,124	204,174	214,055	203,152	203,918	192,164	222,998	205,792	212,095	200,341	184,753	173,850
9	166,695	178,961	188,075	188,075	193,186	182,368	188,671	189,949	210,477	188,842	182,027	148,722	143,186
10	167,717	173,595	189,012	188,416	188,501	185,775	186,712	188,075	183,986	183,475	183,049	157,496	150,852
11	194,293	201,193	219,080	218,058	225,554	215,162	217,888	213,799	213,629	214,055	209,540	185,434	173,765
12	188,245	190,801	208,603	206,133	203,237	198,978	195,911	202,044	226,065	199,744	193,867	167,036	166,014
13	157,411	159,455	177,513	189,438	203,066	193,356	198,126	198,978	237,564	201,618	203,578	177,342	173,424
14	203,322	219,336	234,753	246,422	233,816	220,443	266,269	233,135	230,068	221,210	227,598	193,015	189,267
15	183,560	171,465	215,077	207,325	218,313	202,641	207,240	205,622	236,116	205,111	208,603	178,365	168,143
16	144,208	144,634	180,409	181,346	168,910	167,376	200,511	173,680	167,376	165,673	161,670	143,782	122,061
17	260,477	253,237	265,162	244,037	273,509	260,051	231,601	239,608	222,147	246,252	242,930	261,414	222,572
18	221,550	218,484	251,278	242,930	272,487	285,179	259,710	251,704	273,765	243,782	248,637	208,518	197,359
19	174,361	181,942	212,777	202,555	209,284	199,148	203,663	199,489	235,094	204,685	205,366	179,642	161,414
20	124,617	127,598	149,744	158,177	150,341	161,158	169,165	146,082	152,385	140,460	145,826	142,504	144,123
21	218,739	172,998	238,501	239,267	244,719	234,242	216,525	234,327	222,998	227,513	226,235	208,688	191,567
22	128,194	146,167	158,007	167,376	156,985	149,915	184,242	154,770	159,455	160,647	153,663	141,993	115,417
23	190,801	185,860	211,414	220,017	229,216	217,291	216,780	201,278	209,370	225,383	209,625	182,198	173,850
24	102,641	115,077	133,220	130,239	131,005	124,702	115,758	121,976	133,646	117,036	122,402	103,322	100,511
25	43,356	38,756	72,487	92,675	59,540	64,480	65,928	85,520	102,385	82,368	84,923	69,250	43,867
26	124,532	137,990	165,588	159,710	170,443	175,809	176,405	176,576	172,828	171,721	167,036	146,252	136,797
	125,383	131,346	153,663	151,448	157,070	158,262	159,796	157,325	157,581	155,792	154,089	124,532	127,342

Tabela 28 – Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem com 360 h de funcionamento do sistema, após as utilizações de superfosfato simples e posterior tratamento com HNO_3 , calculada para cada emissor, correspondente ao ensaio 12: Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de superfosfato simples e posterior tratamento com HNO_3

Qr (%)													
Nº	360h	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª HNO_3	10ª HNO_3	11ª HNO_3	12ª HNO_3
1													
2	75,364	71,514	71,771	52,866	79,127	53,550	54,405	55,090	31,394	20,017	36,784	23,781	42,686
3	172,712	139,607	189,735	162,104	173,139	167,237	170,402	173,482	161,249	144,654	164,927	149,530	193,242
4	177,673	148,417	181,523	163,388	188,537	164,072	177,331	171,001	162,019	147,049	144,482	146,621	166,467
5	338,580	305,817	358,597	343,028	347,819	338,751	362,703	331,651	334,388	340,205	334,217	353,721	326,604
6	222,840	205,988	234,731	228,999	242,857	232,421	238,494	243,370	239,521	237,468	243,199	225,749	219,760
7	199,829	147,305	200,513	204,277	203,165	211,976	209,837	208,298	204,619	210,351	175,877	164,927	187,254
8	173,225	148,589	196,065	173,738	195,808	192,216	196,322	174,936	186,826	170,402	139,264	177,417	175,620
9	163,901	150,214	162,703	165,868	171,856	149,273	163,302	169,204	152,866	143,199	136,356	108,554	160,051
10	167,322	141,403	168,862	169,718	167,237	171,856	166,553	168,435	158,255	153,892	130,026	132,506	123,610
11	192,301	172,370	193,157	191,104	198,204	200,257	194,953	194,012	199,572	197,434	403,935	384,517	157,314
12	179,299	134,816	177,930	169,974	185,714	164,927	170,573	176,561	163,388	162,275	380,240	358,597	148,760
13	168,178	158,169	168,092	172,541	164,157	163,986	155,518	183,832	175,706	173,396	400,171	336,527	175,449
14	208,383	189,307	200,599	196,578	221,471	198,289	182,806	196,065	181,437	182,549	483,490	435,672	156,116
15	192,729	172,027	190,761	192,985	187,596	192,387	183,576	200,684	197,177	194,782	429,256	385,201	163,901
16	122,412	124,551	147,648	170,231	155,945	148,503	146,707	144,311	132,506	138,751	320,616	263,815	151,240
17	236,270	221,386	193,157	188,109	223,610	209,837	201,967	201,112	208,725	234,046	577,246	472,370	180,753
18	212,746	190,163	225,064	208,127	226,946	230,453	234,303	221,899	198,717	212,575	479,384	425,577	200,770
19	183,062	154,662	180,667	182,121	182,378	180,924	168,862	185,885	184,431	190,847	423,439	365,868	164,157
20	149,701	103,849	132,592	140,975	141,831	127,032	141,403	134,645	139,692	139,435	290,419	324,123	102,224
21	224,893	191,360	209,153	201,967	211,206	208,041	207,015	205,731	178,785	186,997	468,691	474,508	178,785
22	128,229	124,209	147,220	134,303	148,161	136,185	138,751	130,624	166,724	128,229	308,298	256,373	108,811
23	192,216	166,553	200,684	178,785	207,271	180,154	198,546	189,307	176,305	177,844	387,682	384,346	160,137
24	103,080	80,240	107,784	116,339	102,139	95,637	106,501	96,407	97,348	60,821	233,961	225,235	80,240
25	67,836	16,082	59,966	105,646	85,115	31,052	36,612	73,653	60,565	32,335	115,911	154,491	44,654
26	139,607	114,371	146,963	142,686	153,122	156,116	159,025	151,668	161,933	155,346	130,453	273,567	129,085
	131,480	105,988	130,967	133,276	141,146	143,456	138,580	151,240	156,287	151,583	132,250	257,571	123,952

Tabela 30 – Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem com 360 h de funcionamento do sistema, após as utilizações de água com elevado fitoplâncton, calculada para cada emissor, correspondente ao ensaio 14: Dinâmica do entupimento de gotejadores com água de elevado fitoplâncton e aplicação de cloro para desobstrução

Qr (%)													
Nº	360h	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª Cloro	10ª Cloro	11ª Cloro	12ª Cloro
1													
2	92,082	93,327	112,900	118,149	105,249	119,573	126,690	74,644	49,733	36,032	108,986	62,011	92,082
3	168,861	171,441	197,865	204,448	200,089	200,801	201,157	196,886	199,911	207,117	200,801	149,644	168,861
4	185,320	182,651	212,633	234,164	206,673	209,609	210,409	202,580	197,687	194,929	199,822	167,527	185,320
5	351,068	351,512	380,961	375,890	393,950	389,947	356,406	356,584	437,367	323,843	364,057	322,331	351,068
6	234,698	236,388	264,769	257,473	264,324	273,221	268,772	271,886	327,313	279,181	262,189	201,068	234,698
7	218,861	210,231	242,082	247,064	233,719	244,306	239,324	235,765	236,210	238,078	221,441	199,288	218,861
8	187,456	188,434	227,491	232,117	225,801	227,669	227,669	219,306	218,950	241,815	215,391	191,637	187,456
9	167,260	174,644	202,046	198,665	201,512	193,505	191,548	199,377	197,509	191,815	192,972	152,313	167,260
10	163,523	170,018	193,950	193,149	197,865	193,327	194,662	195,552	181,673	188,523	187,011	157,295	163,523
11	200,356	197,598	217,794	226,690	234,698	224,911	220,374	221,174	218,416	235,498	208,986	182,918	200,356
12	191,904	194,306	214,858	225,623	213,879	245,641	236,566	211,655	211,833	199,021	205,071	155,961	191,904
13	178,114	181,228	201,779	202,402	204,893	212,278	209,342	209,609	252,313	213,968	211,388	199,911	178,114
14	212,278	231,050	177,580	247,153	244,573	236,299	239,057	236,299	245,018	236,833	238,968	179,270	212,278
15	198,843	199,733	226,957	223,310	213,256	251,157	242,082	224,110	232,473	227,402	225,979	208,719	198,843
16	146,174	153,025	245,819	178,114	170,018	174,377	169,573	172,598	175,356	175,000	172,153	155,605	146,174
17	264,502	261,477	273,843	316,815	277,936	277,313	249,021	265,480	254,359	245,196	246,174	257,740	264,502
18	234,075	234,520	245,641	259,698	261,121	266,904	247,865	262,633	278,737	258,096	262,100	235,320	234,075
19	162,456	194,751	197,331	204,359	195,374	192,438	190,836	208,541	209,253	239,324	181,050	152,402	162,456
20	134,964	126,779	163,523	158,274	150,267	152,046	155,516	152,491	184,164	156,584	162,011	146,797	134,964
21	229,626	234,786	266,904	260,231	263,434	250,890	241,103	240,925	284,253	170,374	236,833	209,431	229,626
22	134,698	138,701	176,246	163,879	167,794	179,626	175,890	159,253	158,274	177,936	189,235	147,776	134,698
23	203,114	203,648	232,295	238,879	242,260	237,633	225,356	232,206	260,765	234,609	224,288	196,263	203,114
24	82,651	109,431	130,605	124,466	130,160	115,480	128,470	133,096	136,655	125,890	124,021	97,598	82,651
25	46,352	39,680	77,758	74,021	64,413	73,488	58,007	57,384	53,025	52,847	85,676	50,000	46,352
26	147,064	140,658	177,046	173,577	176,423	184,964	169,217	193,683	182,562	180,872	177,224	134,786	147,064
	141,548	147,598	160,676	164,502	163,167	168,861	160,943	170,285	167,883	164,502	160,943	135,765	141,548

Tabela 29 – Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem com 360 h de funcionamento do sistema, após as utilizações de cal hidratada, calculada para cada emissor, correspondente ao ensaio 13: Dinâmica do entupimento de gotejadores com aplicação de cal hidratada

Qr (%)													
Nº	360h	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª	10ª	11ª	12ª
1													
2	87,927	96,763	118,810	111,724	110,411	96,675	101,487	101,400	101,400	101,400	99,738	63,342	52,493
3	171,741	175,153	195,451	198,513	194,138	187,664	171,654	186,264	187,577	186,264	181,802	162,205	146,894
4	176,290	181,540	200,962	170,779	184,777	200,262	193,351	225,022	186,352	225,022	207,262	165,704	153,018
5	337,008	346,807	369,991	367,017	394,313	370,079	396,850	391,601	396,150	391,601	326,422	347,594	303,850
6	231,759	236,483	273,403	256,168	262,730	231,934	273,403	259,930	261,417	259,930	248,644	232,371	199,125
7	196,500	199,300	227,647	232,108	234,296	237,445	243,132	249,256	255,468	249,256	232,721	204,024	171,391
8	179,440	178,303	221,085	207,349	210,849	231,059	231,321	225,809	246,807	225,809	222,747	216,185	171,304
9	179,790	179,090	186,877	197,375	202,625	197,288	244,357	197,550	191,251	197,550	193,526	163,517	145,669
10	168,679	175,853	206,912	198,950	200,962	189,501	203,150	194,663	198,163	194,663	192,038	168,329	154,331
11	193,526	198,163	230,009	219,860	224,847	223,622	232,021	230,534	220,735	230,534	205,424	195,626	178,740
12	184,514	189,764	217,935	204,462	214,786	216,885	209,536	212,336	209,274	212,336	198,863	195,713	160,892
13	177,953	181,365	210,324	203,762	209,711	209,274	209,711	205,687	188,101	205,424	175,591	163,430	155,556
14	204,287	224,059	240,507	227,034	241,995	238,320	199,650	237,095	235,783	237,095	210,061	211,986	174,016
15	190,464	197,813	217,148	226,684	221,347	207,699	211,549	211,111	204,549	211,111	201,750	189,151	170,429
16	146,982	150,306	198,863	193,176	181,452	167,804	185,652	176,640	170,604	176,640	131,409	179,265	96,675
17	229,921	282,152	281,277	266,842	285,564	302,625	259,843	281,452	254,156	281,452	266,579	201,750	153,281
18	220,035	235,521	258,355	261,330	239,108	265,704	249,519	242,695	278,828	264,654	276,465	204,987	184,427
19	177,690	189,064	216,448	213,561	210,674	201,137	213,211	205,774	206,299	205,774	199,213	178,215	167,892
20	132,546	138,933	157,655	150,919	153,718	158,530	159,055	154,243	147,419	154,243	121,085	92,563	100,350
21	223,360	237,620	259,493	253,106	256,605	258,880	239,195	247,857	245,144	247,857	244,444	219,335	183,815
22	134,296	149,256	157,043	156,080	159,843	139,458	148,206	144,094	144,794	144,094	146,807	107,612	94,663
23	194,138	197,113	228,259	229,571	232,108	263,080	263,255	277,078	258,180	277,078	258,093	235,608	196,675
24	81,277	109,011	134,033	209,099	121,785	125,284	114,873	127,559	122,922	124,409	121,260	86,702	98,863
25	45,582	74,541	69,116	124,322	58,618	58,005	51,881	96,150	57,480	63,167	60,455	54,243	34,558
26	144,619	148,906	175,066	177,865	172,616	183,290	191,076	193,876	188,889	193,876	181,802	161,855	140,507
	139,195	137,533	163,955	161,942	162,117	171,916	176,553	173,666	194,663	173,666	180,665	158,268	129,221

Tabela 30 – Vazão relativa (Qr) expressa em porcentagem com 360 h de funcionamento do sistema, após as utilizações de água com elevado fitoplâncton, calculada para cada emissor, correspondente ao ensaio 14: Dinâmica do entupimento de gotejadores com água de elevado fitoplâncton e aplicação de cloro para desobstrução

Qr (%)													
Nº	360h	1ª	2ª	3ª	4ª	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª Cloro	10ª Cloro	11ª Cloro	12ª Cloro
1													
2	92,082	93,327	112,900	118,149	105,249	119,573	126,690	74,644	49,733	36,032	108,986	62,011	92,082
3	168,861	171,441	197,865	204,448	200,089	200,801	201,157	196,886	199,911	207,117	200,801	149,644	168,861
4	185,320	182,651	212,633	234,164	206,673	209,609	210,409	202,580	197,687	194,929	199,822	167,527	185,320
5	351,068	351,512	380,961	375,890	393,950	389,947	356,406	356,584	437,367	323,843	364,057	322,331	351,068
6	234,698	236,388	264,769	257,473	264,324	273,221	268,772	271,886	327,313	279,181	262,189	201,068	234,698
7	218,861	210,231	242,082	247,064	233,719	244,306	239,324	235,765	236,210	238,078	221,441	199,288	218,861
8	187,456	188,434	227,491	232,117	225,801	227,669	227,669	219,306	218,950	241,815	215,391	191,637	187,456
9	167,260	174,644	202,046	198,665	201,512	193,505	191,548	199,377	197,509	191,815	192,972	152,313	167,260
10	163,523	170,018	193,950	193,149	197,865	193,327	194,662	195,552	181,673	188,523	187,011	157,295	163,523
11	200,356	197,598	217,794	226,690	234,698	224,911	220,374	221,174	218,416	235,498	208,986	182,918	200,356
12	191,904	194,306	214,858	225,623	213,879	245,641	236,566	211,655	211,833	199,021	205,071	155,961	191,904
13	178,114	181,228	201,779	202,402	204,893	212,278	209,342	209,609	252,313	213,968	211,388	199,911	178,114
14	212,278	231,050	177,580	247,153	244,573	236,299	239,057	236,299	245,018	236,833	238,968	179,270	212,278
15	198,843	199,733	226,957	223,310	213,256	251,157	242,082	224,110	232,473	227,402	225,979	208,719	198,843
16	146,174	153,025	245,819	178,114	170,018	174,377	169,573	172,598	175,356	175,000	172,153	155,605	146,174
17	264,502	261,477	273,843	316,815	277,936	277,313	249,021	265,480	254,359	245,196	246,174	257,740	264,502
18	234,075	234,520	245,641	259,698	261,121	266,904	247,865	262,633	278,737	258,096	262,100	235,320	234,075
19	162,456	194,751	197,331	204,359	195,374	192,438	190,836	208,541	209,253	239,324	181,050	152,402	162,456
20	134,964	126,779	163,523	158,274	150,267	152,046	155,516	152,491	184,164	156,584	162,011	146,797	134,964
21	229,626	234,786	266,904	260,231	263,434	250,890	241,103	240,925	284,253	170,374	236,833	209,431	229,626
22	134,698	138,701	176,246	163,879	167,794	179,626	175,890	159,253	158,274	177,936	189,235	147,776	134,698
23	203,114	203,648	232,295	238,879	242,260	237,633	225,356	232,206	260,765	234,609	224,288	196,263	203,114
24	82,651	109,431	130,605	124,466	130,160	115,480	128,470	133,096	136,655	125,890	124,021	97,598	82,651
25	46,352	39,680	77,758	74,021	64,413	73,488	58,007	57,384	53,025	52,847	85,676	50,000	46,352
26	147,064	140,658	177,046	173,577	176,423	184,964	169,217	193,683	182,562	180,872	177,224	134,786	147,064
	141,548	147,598	160,676	164,502	163,167	168,861	160,943	170,285	167,883	164,502	160,943	135,765	141,548