

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SISTEMA COM AERAÇÃO, DECANTAÇÃO E FILTRAGEM
PARA MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.**

Marco Antonio Franco Lemos Filho

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

2009

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**SISTEMA COM AERAÇÃO, DECANTAÇÃO E FILTRAGEM
PARA MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA
IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.**

Marco Antonio Franco Lemos Filho

Orientador: Prof. Dr. José Renato Zanini

Coorientador: Prof. Dr. Jairo Osvaldo Cazetta

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Setembro de 2009

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MARCO ANTONIO FRANCO LEMOS FILHO - Nascido em 01 de março de 1971 na cidade de Franca - SP. Licenciado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista Câmpus de Ilha Solteira, em dezembro de 1994. Atuou em empresas especializadas em irrigação, de 1995 a 1999, na Irrigoeste, em Dracena – SP; de 2000 a 2002 na Hidro System, em Ribeirão Preto – SP; de 2003 a 2005 na Irrigare em Ribeirão Preto – SP e em 2006 na Agrofito de Matão – SP. Desde 2007 exerce a função de consultor autônomo em projetos e instalações de sistemas de irrigação, no Estado de São Paulo. Ingressou no curso de mestrado em Agronomia (Ciência do Solo) em março de 2007, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP – Jaboticabal - SP.

À DEUS, que guiou meus passos para a conquista de mais esta etapa.

Aos meus pais, Marco Antonio e Maria Aparecida, pela dedicação, dignidade e ensinamentos.

Aos meus irmãos, Maria Teresa e Francisco Antônio, pelo incentivo.

OFEREÇO

À minha esposa Barbara

Pelo amor, carinho, compreensão, companheirismo e motivação na busca do conhecimento

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Expresso meus agradecimentos a todas as pessoas e instituições que colaboraram para realização deste trabalho, em especial:

À FCAV/UNESP - Jaboticabal, pela oportunidade;

Ao Sr. Claudio Cassiano e família, dono do Sítio Alvorada, pela disponibilidade da propriedade que foi fundamental para realizarmos este trabalho;

Ao Professor Dr. José Renato Zanini, pela orientação, atenção, paciência, amizade e disponibilidade;

Ao Professor Dr. Jairo Osvaldo Cazetta, pela orientação, atenção, paciência, amizade e disponibilidade do laboratório para realização das análises;

Aos Professores da FCAV/UNESP - Jaboticabal, Dr. Luiz Carlos Pavani, Dr. João Antonio Galbiatti, Dr. Antonio Baldo Geraldo Martins, Dr. Edson Luiz Mendes Coutinho, Dra. Márcia Justino Rossini Mutton, Dr. Manoel Evaristo Ferreira, Dr. Gener Tadeu Pereira e Dr. Miguel Ângelo Mutton, pela amizade, sugestões e ensinamentos proferidos;

Ao Professor Dr. Antonio Sergio Ferraudó, pelas sugestões e colaboração nas análises estatísticas;

Ao companheiro de trabalho, Alberto Balga Alba;

Ao Administrador do Sítio Alvorada, Sr. Vando, pela disponibilidade e ajuda que foi fundamental para realização deste trabalho;

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural da FCAV/UNESP - Jaboticabal, Miriam e Davi, pela atenção e apoio;

Aos colegas da pós-graduação, Elcides Rodrigues da Silva, Marcos de Oliveira Bettini, Juvenal Caetano de Barcelos e demais, pela convivência e alegrias compartilhadas;

Enfim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho e que ficaram no anonimato, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	ix
I. INTRODUÇÃO.....	1
II. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
III. MATERIAL E MÉTODOS.....	11
Sistema de aeração, decantação e filtração.....	11
Pontos de coleta.....	15
Coleta de amostras.....	17
Avaliação da qualidade de água quanto ao risco de entupimento dos emissores.....	19
Análise estatística.....	20
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
V. CONCLUSÕES.....	37
VI. REFERÊNCIAS.....	38

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Fotografias do sistema de aeração (A), do tanque de decantação e da cobertura com tela de sombreamento (B).....	12
Figura 2. Esquema geral dos sistemas de aeração, decantação e filtração.....	13
Figura 3. Perfil longitudinal do sistema de aeração e decantação.....	14
Figura 4. Fotografias do sistema de aeração (A), do tanque de decantação e da cobertura com tela de sombreamento (B).....	14
Figura 5. Fotografias dos pontos de coleta, PC1 – Figura 5 A, PC2 – Figura 5 B, PC3 - Figura 5 C, PC4 – Figura 5 D, PC5 – Figura 5 E, PC6 – Figura 5 F..	16
Figura 6. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos com a formação de grupos dos pontos de coleta (PC) segundo os parâmetros utilizados para avaliação da qualidade da água.....	24
Figura 7. Médias padronizadas das características físico-químicas da água para cada grupo, segundo análise de agrupamentos não-hierárquica “k-means”.....	26
Figura 8. Dispersão (gráfico “biplot”) dos pontos de coleta em função das características físico-químicas da água.....	27
Figura 9. Concentrações de Fe^{+2} , Fe^{+3} , Fe total e oxigênio dissolvido (OD) ao longo do sistema de aeração, decantação e filtração.....	29
Figura 10. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos com a formação de grupos dos períodos de coleta (PC) segundo os parâmetros utilizados para avaliação da qualidade da água.....	33
Figura 11. Médias padronizadas das características físicas e químicas da água considerando-se os períodos de chuva e seca.....	34

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Recomendações de coleta e preservação de amostras hídricas.....	18
Tabela 2. Parâmetros, métodos e referências utilizados para a análise da água dos pontos de coleta.....	19
Tabela 3. Classificação da água para irrigação localizada.....	20
Tabela 4. Valores médios dos parâmetros de qualidade da água e classificação quanto ao risco de obstrução de emissores para os pontos de coleta do sistema de aeração, tanque de decantação e filtração.....	23
Tabela 5. Análise de variância para cada variável dos grupos formados pela análise não-hierárquica de agrupamentos “k-means”.....	25
Tabela 6. Correlação entre componentes principais (CP1 e CP2) e características físicas e químicas da água.....	28
Tabela 7. Probabilidade para interação entre os períodos de coleta.....	30
Tabela 8. Variáveis físicas e químicas nas três etapas do sistema de aeração, decantação e filtração.....	34

SISTEMA COM AERAÇÃO, DECANTAÇÃO E FILTRAGEM PARA MELHORIA DA QUALIDADE DA ÁGUA PARA IRRIGAÇÃO LOCALIZADA.

RESUMO: A qualidade da água é muito importante para a irrigação por gotejamento, onde escoam por pequenos orifícios que podem ser obstruídos devido à deposição dos sólidos em suspensão; portanto, antes da instalação do projeto devem-se avaliar parâmetros de qualidade da água e manejar a serem implantados, para adotar medidas preventivas, evitando o risco de entupimento do sistema. Dentro desse contexto, este trabalho teve como objetivo avaliar um sistema composto por aeradores com aspersores sobre leito de pedra, para precipitação dos íons Fe^{+2} e Mn^{+2} em tanque de decantação e de um conjunto de filtragem composto por três filtros de areia e um de disco, em sistema de irrigação localizada. O trabalho foi realizado na Fazenda Alvorada, no município de Nova Granada – SP, no período de março a outubro de 2008, realizando-se determinações físicas e químicas da água, ao longo do sistema de aeração, decantação e filtragem. Verificou-se que tal sistema foi eficiente para a melhoria da qualidade de água, reduzindo os níveis de risco de entupimento de severo para médio e os de médio para baixo. Oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH, Fe^{+2} e Fe^{+3} não diferenciaram a qualidade de água entre os pontos do sistema de tratamento, porém a turbidez, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, ferro total e manganês total reduziram-se significativamente pelo uso do sistema proposto. De maneira geral, a qualidade da água utilizada para irrigação variou durante as diferentes épocas do ano, sendo que o risco potencial de entupimento dos gotejadores só foi médio ou alto com relação aos teores de sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e ferro total.

PALAVRAS-CHAVE: análises físicas e químicas de água; tratamento de água; precipitação dos íons Fe e Mn total

SYSTEM WITH AERATION, SEDIMENTATION AND FILTERING TO IMPROVE THE WATER QUALITY FOR DRIP IRRIGATION

ABSTRACT: Water quality is very important for drip irrigation, which flows by small holes that can be clogged due to deposition of solid matter, so before installation of the project some parameters should be evaluated of water quality and management to be established, to adopt preventive measures, avoiding the risk of clogging the system. Within this context, this work was to evaluate a system with sprinklers aeration on bed of stone, for precipitation of ions Fe^{+2} and Mn total in sedimentation tank and retention in the filter set composed of three sand filters and other disk filter, in drip irrigation system. The work was conducted at Alvorada Farm, at the city of Nova Granada - SP, in the period of March to October of 2008, physical and chemical determinations of water were taken through the system of aeration, sedimentation and filtration. It was found that this system was effective for improving water quality, reducing the risk levels from severe clogging to the medium and from medium to low. Dissolved oxygen, electrical conductivity, pH, Fe^{+2} and Fe^{+3} indicates no differences on the water quality between the points of the treatment system, but the turbidity, dissolved solids, suspended solids, total iron and total manganese were significantly reduced by the use of proposed system. In general, the water quality used for irrigation varied during the different seasons, and the potential for clogging of the drippers was medium or high relative to levels of suspended solids, dissolved solids and total iron.

KEYWORDS: physical and chemical analysis of water, treatment of water, precipitation of ions Fe and Mn total

I. INTRODUÇÃO

A água é um componente essencial à vida na Terra e é parte indispensável para a manutenção de todos os ecossistemas. No entanto, a água vem se tornando escassa em qualidade e quantidade no planeta. Embora seja um recurso renovável, sua capacidade é finita. Desse modo, deve ser utilizada de forma racional e a sua conservação deve ser prioridade.

O aumento das áreas irrigadas e a escassez de água de boa qualidade exigem a geração de tecnologia que viabilize a utilização de água de baixa qualidade para sistemas de gotejamento e microaspersão. Essa tecnologia deve ser eficiente uma vez que a recuperação total ou parcial de emissores entupidos, além de não ser muito efetiva, é muito onerosa para o produtor (RESENDE et al., 2001).

A água é um elemento essencial para a manutenção da produção agrícola, e biodiversidade dos sistemas terrestres e aquáticos. Por isso, os recursos hídricos superficiais e os recursos hídricos subterrâneos são recursos estratégicos. A sua renovação é contínua pela ação do ciclo hidrológico.

Durante a última década, no Estado de São Paulo, houve grande mudança nas preferências dos produtores quanto à irrigação, passando a ser muito utilizada a irrigação localizada em substituição à irrigação por aspersão, por se tratar de sistemas com grande eficiência de uso da água e pequeno consumo de energia, além de diversas vantagens em relação a outros sistemas como possibilidade e eficiência de fertirrigação, menor utilização de mão-de-obra e redução dos riscos de contaminação de alimentos por organismos patogênicos (PATERNIANI, 1991). Essa mudança é muito mais perceptível em culturas perenes como café, citros e frutíferas em geral.

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

Na irrigação por gotejamento a água escoar por pequenos orifícios, podendo ocorrer obstrução desses devido à deposição de materiais em suspensão. O entupimento de emissores é um grave problema associado ao gotejamento, visto que dificulta a operação de sistemas de irrigação, é de difícil detecção e a limpeza ou substituição dos emissores entupidos é onerosa (VIEIRA et al., 2004).

A ferrugem ou limo ferroso pode desenvolver-se pela ação de bactérias ferruginosas que infectam a água, mesmo que o conteúdo de ferro na água seja pequeno, ou seja, menor que 1 mg L^{-1} (MATSURA et al., 1989).

Segundo NAKAYAMA & BUCKS (1991), a principal causa de entupimento de emissores de irrigação localizada é a água com elevados teores de íons ferro (Fe^{+2}) solúveis que quando oxidados para a forma Fe^{+3} precipitam-se, formando aglomerados sólidos. Esses sólidos vão se aderindo às partes internas do sistema de irrigação, após a filtração, sendo responsáveis por causar obstrução dos emissores. A determinação da causa exata do entupimento do emissor é complexa, uma vez que podem ocorrer interações entre vários agentes presentes na água, agravando o problema de entupimento (RAVINA et al., 1992). Outros contaminantes presentes na água, como algas, areia e silte, entre outros, também devem ser removidos (PITTS et al., 1990). Além do Fe^{+2} , o manganês (Mn^{+2}) e o enxofre (S) são íons que no estado reduzido apresentam-se solúveis em água e quando se oxidam, precipitam-se causando obstrução dos emissores (PIZARRO, 1996).

Para amenizar esses problemas, o procedimento ideal é fazer avaliação da água antes de se instalar qualquer sistema. Assim, pode-se recomendar sistemas de aeração que diminuam os níveis de Fe^{+2} e outros íons solúveis em água, e tanques de decantação para ocorrer a formação de limo ferroso no tanque e a parte que não venha a decantar seja retirada da água pelo sistema de filtração.

Considerando-se que muitos sistemas de irrigação apresentam obstrução e existem poucos estudos para avaliação desse fenômeno, neste trabalho estudou-se o efeito da aeração com aspersores tipo "spray" colocados em leito de pedras, sobre a precipitação dos íons solúveis Fe^{+2} e Mn^{+2} , associados a tanque de decantação e filtração, para obter água com qualidade suficiente para a utilização em irrigação

localizada, evitando ou reduzindo problemas de obstrução de emissores. Cabe ainda ressaltar que, cada vez mais, as empresas produtoras de emissores de irrigação localizada investem no desenvolvimento de emissores de menor vazão e emissores anti-drenantes para irrigação por pulso, tecnologia essa, que é tendência mundial. Diante disso, faz-se necessário o estudo e a geração de soluções viáveis para implantação dessas novas tecnologias.

A análise estatística multivariada surgiu como importante ferramenta de obtenção de quantidade maior de informação que dificilmente seria gerada com o uso de métodos univariados (BEEBE et al., 1998). Na estatística multivariada, o fenômeno depende de muitas variáveis. Com isso, não basta conhecer as variáveis isoladamente, mas conhecê-las conjuntamente, pois uma depende da outra e as informações são fornecidas pelo conjunto e não individualmente (GROBE, 2005).

Dentro desse contexto, idealizou-se este trabalho com o objetivo de identificar a eficiência do sistema de aeração, decantação e filtração durante um período de um ano de coleta de informações.

II. REVISÃO DE LITERATURA

O homem utiliza água para diversas atividades, sendo o maior usuário de água o setor agrícola, que na média mundial consome cerca de 70,2% de toda água doce originada de rios, lagos e aquíferos e os outros 29,8% são consumidos pela indústria (20,3%) e uso doméstico (9,5%) (CHRISTOFIDIS, 2008). Uma grande diferença ocorre com relação ao uso da água. Em países em desenvolvimento, o setor agrícola como o maior consumidor (87%) e a indústria e o uso doméstico o menor valor (13%). Já em países desenvolvidos, o setor agrícola consome 46% e a indústria e o uso doméstico 54% (TOWNSEND et al., 2006).

No século passado houve uma explosão populacional, tendo a população mundial triplicada, porém o consumo de água aumentou seis vezes (RIJSBERMAN,

2006). Assim, a irrigação foi a técnica responsável pelo aumento de produção de alimentos para suportar esse crescimento. Hoje, 18% da área agricultável de todo o mundo é irrigada, a qual é responsável pela produção de 44% de todo o alimento consumido no mundo, estimando-se que na maioria das áreas irrigadas são aplicados cerca de 10 mil m³ de água por hectare anualmente (CHRISTOFODIS, 2008). No Brasil, 5% a 6% das terras cultivadas são irrigadas, o que corresponde a 16% do total da produção e 35% do valor arrecadado com a comercialização da produção agrícola do país (TELLES & DOMINGUES, 2006). Assim, 1 ha irrigado no Brasil equivale a 3 ha de sequeiro em produtividade e a 7 ha em produtividade econômica (CHRISTOFODIS, 2008). Também, segundo TELLES & DOMINGUES (2006), existem estimativas que o país dispõe de 29,6 milhões de hectares irrigáveis. Os métodos mais utilizados são: inundação (33%); aspersão mecanizada (21%); aspersão convencional (20%); sulcos (18%) e irrigação localizada com (8%).

São muitas as razões pelas quais se decide implantar um sistema de irrigação em uma propriedade, dentre elas podem ser salientadas as condições climáticas (déficits hídricos em algumas regiões), as questões agrônômicas e as de interesse econômico e gerencial (TELLES & DOMINGUES, 2006). HERNANDEZ et al. (2003) relataram que na região noroeste do Estado de São Paulo, ocorrem oitos meses de déficits hídricos e a maior evapotranspiração, além da suscetibilidade a veranicos, o que induz os agricultores a adotarem sistemas de irrigação em suas propriedades.

Segundo TELLES & DOMINGUES (2006), o uso indiscriminado dos recursos hídricos pela irrigação pode causar diversos impactos ambientais, dentre eles a diminuição da vazão ou do nível do curso d'água, o rebaixamento do lençol freático, salinização do solo, disseminação de doenças de veiculação hídrica e contaminação das águas superficiais pelo escoamento superficial e subterrâneas pela lixiviação, interferindo diretamente e/ou indiretamente na quantidade e qualidade desse recurso. Vale a pena lembrar que a água de boa qualidade é de extrema importância, tanto para obtenção de produtos saudáveis, como também é fundamental no dimensionamento de sistemas de irrigação eficientes.

Assim, é importante relatar o conceito de desenvolvimento sustentável para equilibrar a produção e o uso dos recursos naturais. Desse modo, o êxito da agricultura sustentável está no desenvolvimento de técnicas apropriadas a cada situação e região, acessíveis e possíveis de serem adotadas pelo produtor e que sejam capazes de aumentar a produtividade e diminuir o risco ao meio ambiente (SILVA PAZ et al., 2000).

A água é uma necessidade fisiológica para todo ser vivo e, do ponto de vista ecológico e agrônômico, é um fator limitante, principalmente em regiões que passam por estiagens ou períodos de déficits hídricos. Como exemplo, pode-se falar sobre a eficiência de transpiração, que é a razão entre o crescimento vegetal e a água transpirada, expressa em grama de matéria seca produzida por 1.000 gramas de água transpirada (ODUM, 1998). Para a maioria das plantas de interesse agrícola, 500 gramas ou mais de água são necessários para cada grama de matéria seca produzida.

Existem previsões que nos próximos trintas anos, o número de países com escassez de água passará dos 31 atuais para 48. Esse fato tem como responsável o consumo inadequado da água, bem como o aumento da demanda na irrigação e na indústria (TUNDISISI et al., 2006). Para minimizar esses impactos, a agricultura irrigada vem reduzindo a aplicação dos recursos hídricos sobre a planta, usando técnicas que melhoram a qualidade e a eficiência da irrigação.

É comum surgirem questões sobre a disponibilidade de água, bem como da sua qualidade. A qualidade da água é função do uso e da ocupação do solo na sua bacia de contribuição. Os componentes presentes na água e que alteram a sua qualidade são classificados em características físicas, químicas e biológicas. As características físicas são os sólidos (totais, dissolvidos e suspensos) presentes na água. As químicas são os materiais orgânicos e inorgânicos presentes na água. As biológicas são os organismos e microorganismos vivos presente na água (GASTALDINI & MENDONÇA, 2003).

Segundo AYERS & WESTCOT (1999), a qualidade da água para a irrigação é uma ferramenta importante para definir para que tipo de cultura ela pode ser usada, evitando problemas com o equipamento de irrigação devido à obstrução física ou (relação de contaminantes) química dos emissores, isso em sistemas de irrigação localizada que apresentam orifícios de pequeno diâmetro e são passíveis desses

problemas, pela presença de partículas sólidas (silte e argila) e microorganismos como algas e bactérias (NAKAYAMA & BUCKS, 1986). Assim, a qualidade da água para a irrigação está diretamente relacionada com equipamento utilizado no sistema, tornando a análise da água um instrumento de fundamental importância para se determinar o tipo do sistema a ser utilizado e até mesmo o material de fabricação dos equipamentos (TELLES & DOMINGUES, 2006).

NAKAYAMA & BUCKS (1986) relataram que as variáveis físicas e químicas que estão relacionadas com o risco de obstrução são: os sólidos suspensos e dissolvidos, pH, ferro total, manganês. Assim, devem ser definidos padrões e critérios das variáveis físicas, químicas e biológicas relacionadas ao risco de danos ao sistema de irrigação.

Segundo KELLER & BLIESNER (1990), o dimensionamento de sistemas de filtragem deve ser realizado para não permitir a passagem de partículas maiores que 1/10, para gotejamento e 1/5, para microaspersão em relação ao tamanho do orifício do emissor. No entanto, isso não basta para prevenir obstruções, pois a obstrução pode ser gradual, ocasionada por partículas de argila, que passam por filtros, e embora não apresentem problemas isoladamente, podem sofrer processos de cimentação com mucilagens de algas filamentosas ou bactérias, podendo assim causar obstruções físicas em emissores (GILBERT & FORD, 1986).

O termo “sólidos” é usado para os compostos presentes em água e que permanecem em estado sólido após evaporação. Os sólidos suspensos correspondem aos resíduos filtráveis e sólidos dissolvidos se referem aos resíduos não filtráveis, segundo GASTALDINI & MENDONÇA (2003). Os sólidos suspensos (areia, silte, microorganismos, restos de animais e vegetais) em altas concentrações constituem-se em um dos principais problemas, pois pode ocasionar obstrução dos emissores em sistema de irrigação localizada. Quando a água de irrigação apresenta valores acima de 50 mg/L de sólidos suspensos e 500 mg/L de sólidos dissolvidos, pode ocorrer dano moderado ao sistema de irrigação localizada, com o entupimento de emissores (NAKAYAMA & BUCKS, 1986). Outro problema são os sólidos dissolvidos que apresentam sais minerais, sendo que seu excesso na água pode provocar a

salinização, dificultando e, em alguns casos mais severos, impedindo a planta de absorver a água pelo sistema radicular (AYERS & WESTCOT, 1999).

A concentração de matéria em suspensão: silte, argila, partículas finas de matéria orgânica e inorgânica, compostos orgânicos solúveis, plâncton e outros organismos microscópios são responsáveis pela turbidez da água. A turbidez dos corpos d'água é o resultado do espalhamento e absorção da luz incidente por partículas, sendo elevada em regiões com solos erodíveis, onde a precipitação pode carrear partículas de argilas, silte, areia, fragmentos de rochas e óxidos metálicos do solo. Os rios brasileiros são naturalmente turvos (LIBÂNIO, 2005). De forma geral, os valores de turbidez vão de 0 a 1000 unidades nefelométricas (NTU) e valores baixos indicam poucas partículas em suspensão na água. A turbidez para a irrigação é um indicativo que determina a presença de sedimentos em suspensão na água, que em excesso pode causar problemas a sistemas de irrigação localizada.

O pH influencia muitos processos biológicos e químicos na água (ESTEVES, 1998). É uma função da proporção entre íons de H^+ e os íons de OH^- em solução, regulando numerosos processos fisiológicos e reações físico-químicas do ambiente. As águas naturais de superfície apresentam pH entre 6,0 a 8,5 (LIBÂNIO, 2005). Para a irrigação, os valores de pH levemente ácidos são favoráveis para uma melhor qualidade da água para irrigação localizada, os valores de pH são classificados como baixos (<7,0), médios (7,0-8,0) e altos (>8,0) (NAKAYAMA & BUCKS, 1986). (Tabela 3)

A condutividade elétrica determina a capacidade que água tem de conduzir a corrente elétrica. Quanto maior a concentração íons da solução, maior será a condutividade elétrica. Os íons originam-se da dissociação de rochas e solos, incluindo a dissolução lenta do calcário, do gesso e de outros minerais. Para a irrigação, o principal problema do excesso de sais na água é a salinização do solo (AYERS & WESTCOT, 1999).

O oxigênio dissolvido é uma variável química importante para as condições ambientais, embora não seja um parâmetro utilizado na caracterização da qualidade de água para irrigação. Através da medição da concentração de oxigênio dissolvido, pode-

se estimar os efeitos de resíduos oxidáveis sobre águas receptoras e a eficiência do tratamento dos esgotos durante a oxidação bioquímica.

O ferro é um elemento que tem a sua origem na dissociação de compostos de rochas e solos, sendo um elemento abundantemente encontrado nas águas naturais, superficiais e subterrâneas (ESTEVES, 1998). Apresentando-se nas formas insolúvel em substâncias (Fe^{+3}) e dissolvida (Fe^{+2}), sendo que a forma dissolvida ocorre mais onde existe baixa concentração de oxigênio dissolvido (LIBÂNIO, 2005).

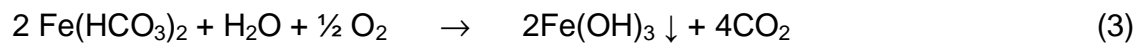
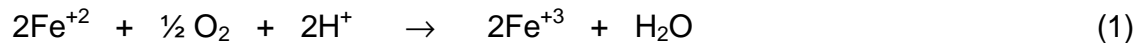
A presença de ferro e manganês em águas naturais superficiais é devida às interações da água com o solo (BARROS, 2001). O ferro é um dos elementos mais abundantes, encontrado com maior freqüência que o manganês, nos minerais de silicatos das rochas ígneas sob a forma de diversos óxidos, como magnetita, hematita e limonita. Os minerais sulfurados e carbonatados também são fontes importantes de ferro, tais como a pirita e a siderita (DI BERNARDO, 1992). O manganês encontra-se em maiores proporções nas rochas metamórficas e sedimentares e os dióxidos de manganês, tais como a manganita e a pirolusita, acumulam-se nos solos à medida que os constituintes mais solúveis se separam por lixiviação (BENEFIELD et al., 1982).

No interior do Estado de São Paulo, principalmente nas regiões norte e noroeste, a maioria das fontes de água superficial tem problemas, pois as altas temperaturas predominantes são ideais para o desenvolvimento de algas e bactérias, resultando em maior risco de obstrução de origem biológica de emissores. Também é válido lembrar que o uso de fertirrigação, atualmente uma tecnologia indispensável, pode colaborar com a proliferação de algas e bactérias, deixando no sistema resíduos com nitrogênio e fósforo.

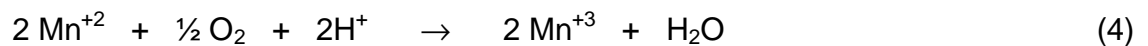
FORD & TUCKER (1975), ao avaliarem agentes causadores de obstruções em sistemas de irrigação localizada, constataram que o Fe^{+2} foi um dos principais causadores do problema, pois nenhum filtro foi capaz de reter o íon nessa forma. Somente após sua oxidação foi possível reter essa impureza. Os autores determinaram que níveis desses íons superiores a $0,4 \text{ mg L}^{-1}$ podem causar problemas.

O ferro presente nas águas pode ser encontrado na forma de bicarbonato ferroso (FeHCO_3), sulfato ferroso (FeSO_4) ou complexado à matéria orgânica (ADAD, 1971).

O íon Fe^{+2} em contato com o oxigênio atmosférico é oxidado para a forma Fe^{+3} , seguindo o processo apresentado na equação (1) (RUMP & KRIST, 1992). Já o processo que turva a água é pela formação de hidróxido férrico, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, conforme equações (2) e (3):



O Mn é um elemento com a mesma relação do ferro, em virtude de seu comportamento geoquímico. Ocorre em teores abaixo de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$, quase sempre como óxido de manganês bivalente, que se oxida em presença do ar, dando origem a precipitados negros equação (4):



O Fe^{+2} e o Mn^{+2} são íons metálicos que ocorrem em muitas partes da crosta terrestre. Os quais têm a água como solvente. Eles são encontrados em diferentes concentrações, que podem ou não causar problemas de obstrução em sistemas de irrigação por meio de incrustações que diminuem os diâmetros internos dos tubos (VARNER et al., 2000).

Segundo PIZARRO (1996), uma das alternativas para evitar problemas com o Fe^{+2} e o Mn^{+2} é provocar a oxidação dos mesmos por meio de aeração artificial, tornando-os menos solúveis e fazendo com que essas partículas fiquem retidas na filtração.

Segundo BOYD (1990), a operação de aeração artificial pode ser feita de muitas formas, cabendo ao técnico escolher a melhor, em função do volume de água, eficiência do aerador e do seu custo total.

A possibilidade de uso de injetores tipo Venturi na aeração artificial foi mencionada por BOON (1978), o qual ressaltou que são utilizados dois critérios para

avaliar a eficiência de um aerador: 1) capacidade de oxigenação e 2) eficiência de oxigenação. O primeiro define a taxa de absorção de oxigênio durante a aeração com temperatura específica (10 °C ou 20 °C); o segundo define a capacidade de oxigenação do aerador por unidade de energia consumida no trabalho.

FEITOSA FILHO et al. (1997; 1998) avaliaram um aerador por injetor tipo Venturi acoplado a linhas de PVC rígido perfuradas e submersas. O ar era captado da atmosfera pelo injetor e incorporado na água que passava pela tubulação principal do sistema, sendo ambos, ar e água, distribuídos pela tubulação perfurada no reservatório de tratamento. Eles conseguiram boa eficiência na quantidade de ar incorporado na água, porém sua distribuição no reservatório foi bastante irregular ao longo das tubulações. Assim, concluíram que havia necessidade de aprimorar o sistema visando melhorar a uniformidade de distribuição de ar no reservatório. FEITOSA FILHO et al. (1999) também avaliaram um sistema de aeração de reservatório de água, constituído por tubos verticais ranhurados com descarga submersa e concluíram que a quantidade de ar incorporado e o CUC (Coeficiente de Uniformidade de CHRISTIANSEN) da distribuição do oxigênio acrescentado no sistema estudado foram eficientes segundo o objetivo proposto.

Existem bactérias filamentosas que oxidam Fe^{+2} transformando-o em Fe^{+3} , o qual pode precipitar-se (PIZARRO, 1996). ENGLISH (1985) relatou que interações entre o ferro e bactérias ocorrem a partir de concentrações de Fe^{+2} de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$. O ferro precipitado forma incrustações vermelhas que podem aderir na parede da tubulação e também entupir emissores.

Nos sistemas com problemas de entupimento de origem biológica, segundo RAVINA et al. (1992), os gotejadores dos finais da linha lateral se encontram mais obstruídos, dados esses que foram confirmados por RESENDE et al. (2001). Por outro lado, quando a origem do entupimento foi física, ensaios realizados por BOMAN (1995) demonstraram uniformidade das obstruções ao longo de toda a linha lateral.

Segundo RESENDE et al. (2001), os entupimentos de origem biológica constituíram-se na maior causa da baixa uniformidade do sistema de irrigação

localizada, demonstrada pela alta contagem bacteriológica da água no final da linha lateral, além da maior incidência de gotejadores totalmente entupidos nessa região.

III. MATERIAL E MÉTODOS

Sistema de aeração, decantação e filtração

O experimento foi realizado na Fazenda Alvorada, no município de Nova Granada – SP, utilizando água do córrego Samambaia, em cultura de citros (68,53 ha). A área é irrigada com gotejadores fabricados pela empresa (NETAFIM: Ribeirão Preto-SP), modelo RAM 17 Q, vazão nominal de $3,5 \text{ L h}^{-1}$ autocompensantes, espaçados a cada 0,8 m na linha lateral e a 7 m entre linhas laterais, em tubos de polietileno linear de baixa densidade, com 17 mm de diâmetro externo e linhas de 120 m de comprimento máximo. Este sistema já está a quatro anos em funcionamento.

Nesse sistema, em novembro de 2007 foi instalado um aerador, com aspersores tipo “spray” fixo da marca (Fabrimar®: Rio de Janeiro-RJ), com bocal de diâmetro nominal de 8,8 mm, com vazão de $2,95 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ à pressão de serviço de 105 kPa, modelo ASFIX AF4, com difusor de placa fixa estriada e côncava, de cor azul, que trabalha a pressões de 70 a 140 kPa, produzindo 36 jatos radiais que cobrem 360° de molhamento. Esse aspersor foi escolhido pelos seguintes aspectos: A) necessita de baixa pressão e, portanto, demanda menor potência de bombeamento. A placa côncava e estriada direciona o fluxo ao leito de pedras fracionando-o antes em grande quantidade de jatos, e estes em gotas de vários tamanhos favorecendo a aeração (Figura 1); B) baixo custo e disponibilidade no mercado. No sistema de irrigação a filtração é realizada por um conjunto formado de filtro de areia (três botijões de 1,2 m de diâmetro, preenchidos com areia de quartzo arestado de granulometria de 1 a 2 mm e instalados em paralelo) e filtro de discos com seção de passagem de 120 mesh (130 μm).

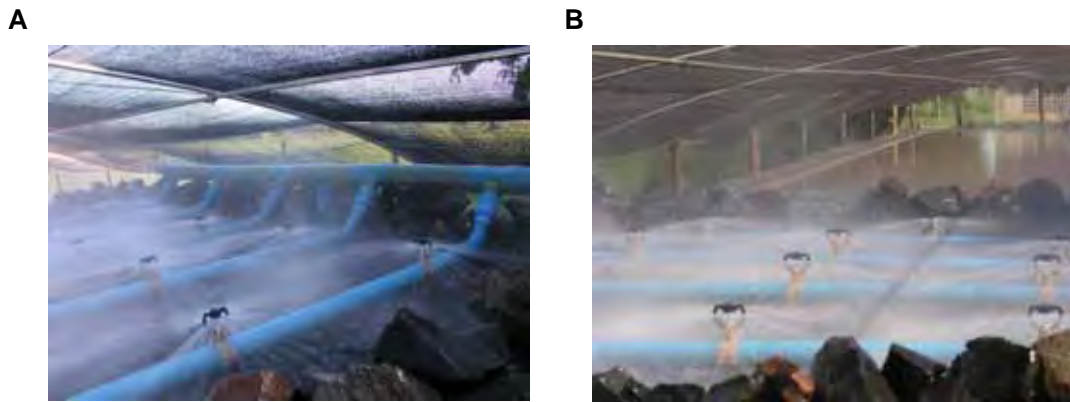


Figura 1. Fotografias do sistema de aeração (A), do tanque de decantação e da cobertura com tela de sombreamento (B).

O espaçamento entre as linhas de aspersores e entre aspersores na linha é de 0,6 m, sendo utilizadas 4 linhas laterais com 8 aspersores e 1 linha lateral com 9 aspersores. A instalação dos aspersores foi feita sobre um leito de pedra basáltica arestada (classificada como pedra-de-mão, de 10 a 30 cm de diâmetro), com 12 m de comprimento, 5 m de largura e espessura de 0,5 m, que além de ajudar na aeração, funciona também como um pré-filtro de partículas que aderem as pedras por contato superficial (Figura 1). Os aspersores ficam a 15 cm de altura sobre o leito de pedra. A vazão do sistema é de $120,95 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ e a condução da água do córrego até o aerador é feita utilizando tubos de PVC de diâmetro nominal de 150 mm.

O tanque de decantação possui as paredes com inclinação de 45° e as seguintes dimensões aproximadas: largura de 15 m, profundidade de 3 m e comprimento de 35 m, resultando em seção de 27 m^2 . Assim, sendo a vazão de $120,95 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$, a velocidade média da água no tanque é de $3,5 \text{ m h}^{-1}$, sendo, portanto, o tempo disponível para decantação de aproximadamente 10 horas, que corresponde ao tempo de percurso da água do início ao final do tanque. O tanque apresenta cobertura com tela de sombreamento de 80% para diminuir o desenvolvimento de algas (Figura 1).

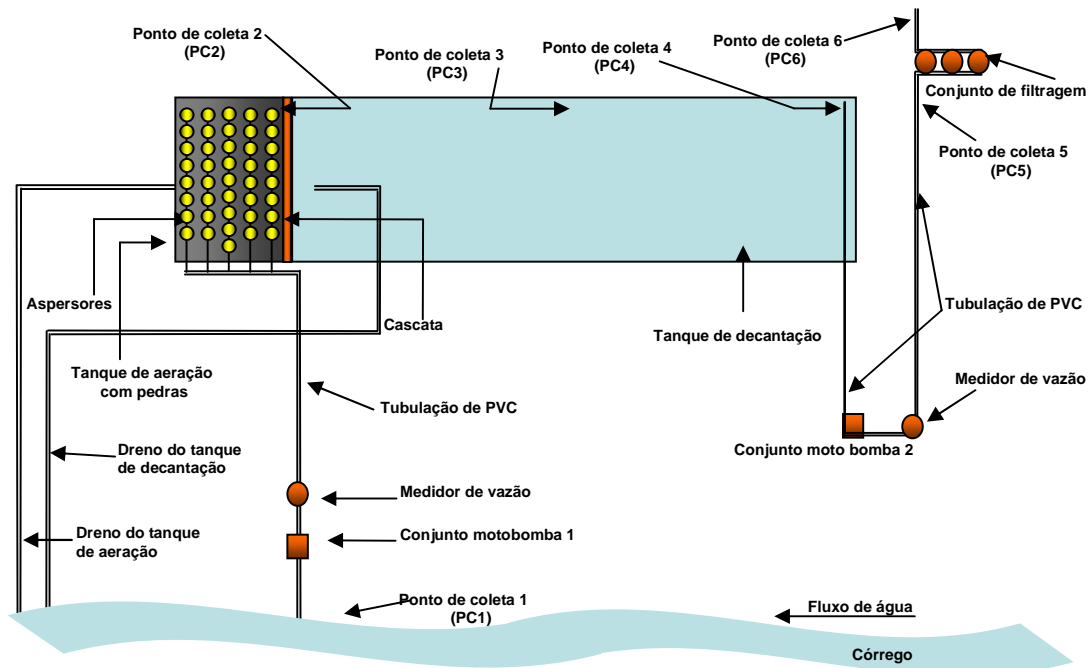


Figura 2. Esquema geral dos sistemas de aeração, decantação e filtragem.

O sistema de aeração tem um desnível para o tanque de aeração fazendo assim uma cascata (Figuras 2, 3 e 4). Além disso os tanques de aeração e decantação têm drenos de fundo para fazer periodicamente a limpeza das impurezas que vão se depositando. Também, a captação da água para o conjunto de irrigação é feita na profundidade média do tanque de decantação (Figura 3). Assim, os pontos de coleta PC5 (depois do conjunto motobomba e antes da filtragem) e PC6 (depois do sistema de filtragem) são de água da profundidade média do tanque de decantação (Figuras 2 e 3). Na Figura 4, tem-se o tanque de aeração e decantação em processo de limpeza, sem os emissores e sem tela de sombreamento, onde pode-se observar a cascata e todo o tanque de decantação.

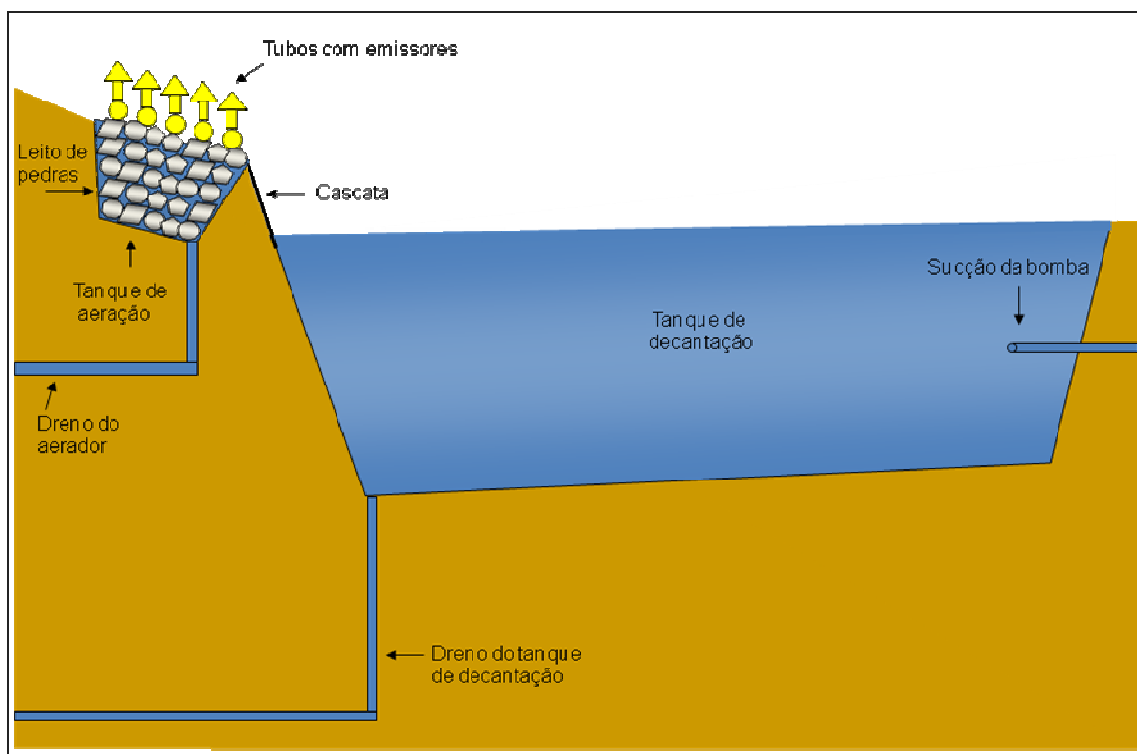


Figura 3. Perfil longitudinal do sistema de aerção e decantação com escala horizontal 1:3000 e escala vertical 1:1000.



Figura 4. Fotografias do sistema de aerção (A) e do tanque de decantação (B) em momento de limpeza (sem tela de sombreamento).

Pontos de coleta

Os pontos de coleta de amostra de água (PC) para análise foram os seguintes:

(PC1) - captação de água no córrego, a 0,2 m de profundidade e 0,6 m de distância da margem (Figura 5 A);

(PC2) - no início do tanque de decantação, logo após o aerador, na cascata (Figura 5 B);

(PC3) - no ponto médio do tanque de decantação, a 0,2 m de profundidade e 0,6 m de distância da borda (Figura 5 C);

(PC4) - no ponto final do tanque de decantação, a 0,2 m de profundidade e 0,6 m de distância da borda (Figura 5 D);

(PC5) - após o conjunto motobomba 2 e antes do sistema de filtragem, em uma saída lateral da automação (Figura 5 E);

(PC6) - após o sistema de filtragem, em um tubo de saída lateral (Figura 5 E).

Em todas as datas de coleta foram retiradas amostras de todos os 6 pontos, sendo que o pH e o oxigênio dissolvido em água foram realizadas no local e as demais análises foram realizadas em laboratório.

Para se dar início às coletas, o sistema já estava em funcionamento pelo menos por 10 horas ininterruptamente, para que estivesse em pleno funcionamento. As coletas, sempre foram realizadas no período da manhã, entre as 8:00 e as 12:00 horas, tomando-se o devido cuidado de não fazer turbilhonamento na água para não serem desprendidas impurezas depositadas na parede do tanque de decantação.



Figura 5. Fotografias dos pontos de coleta, PC1 – Figura 5 A, PC2 – Figura 5 B, PC3 - Figura 5 C, PC4 – Figura 5 D, PC5 – Figura 5 E, PC6 – Figura 5 F.

Coleta de amostras

As avaliações da qualidade da água tiveram início em 30 de março de 2008, sendo os parâmetros físicos e químicos monitorados em média a cada 15 dias, até fevereiro de 2009, totalizando 20 amostragens subdivididas em 3 períodos de análises: de março a maio, com 5 amostragens como período chuvoso; de junho a outubro, com 8 amostragens como período da seca e de novembro a fevereiro, com 7 amostragens, voltando ao período chuvoso. Nos meses de junho e julho, por serem os meses em que a irrigação é suprimida para que a cultura sofra estresse hídrico, para que ocorra uma floração mais uniforme e intensa, só foi ligado o sistema para a coleta durante 1 dia no mês, assim as amostragens foram realizadas a cada 30 dias.

Foram avaliados os seguintes parâmetros relacionados com a qualidade de água para irrigação localizada: oxigênio dissolvido em água, sólidos em suspensão, sólidos totais, sólidos dissolvidos, turbidez, condutividade elétrica (CE), Fe^{+2} , Fe^{+3} , ferro total, Mn total e pH.

Para caracterizar o efeito do sistema de aeração, o teor de oxigênio dissolvido em água (OD) foi quantificado no momento da coleta das amostras, através do método eletroquímico, utilizando oxímetro digital portátil, marca Hanna Instruments, modelo HI 9147, à prova de água, com sonda galvanizada.

As coletas de amostras de água foram realizadas procurando-se evitar contaminação ou variação dos constituintes a serem analisados entre o período da amostragem e a realização das análises em laboratório, seguindo-se recomendações de tipo de frasco, volume e período de validade, segundo MACEDO (2005), apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Recomendações de coleta e preservação de amostras hídricas.

Parâmetro	Preservação	Frasco	Período entre coleta e análise	Volume mínimo da amostra (mL)	Observação
pH	Analisar imediatamente	Polietileno	Até 24 h	50	Usualmente medido em campo
Oxigênio dissolvido em água	Analisar imediatamente	Polietileno	Imediato	300	Usualmente medido em campo
Sólidos em suspensão	Refrigerar a 10 °C	Polietileno	Até 7 dias	200	-
Sólidos totais	Refrigerar a 10 °C	Polietileno	Até 7 dias	200	-
Sólidos dissolvidos	Refrigerar a 10 °C	Polietileno	Até 7 dias	200	-
Sólidos sedimentáveis (Cone de Imnhof)	Refrigerar a 10 °C	Polietileno	Até 7 dias	1000	-
Turbidez	Refrigerar e evitar exposição da amostra a luz	Polietileno	Até 48 h	200	-
Condutividade elétrica (CE)	Analisar imediatamente	Polietileno	Imediato	500	-
Ferro (Fe^{+2} e Fe^{+3}) e ferro total	5 mL de HNO_3 por L	Polietileno	Até 180 dias	1000	-
Manganês (Mn)	5 mL de HNO_3 por L	Polietileno	Até 180 dias	1000	-

As amostras de água foram tomadas sem repetições e armazenadas em garrafas de polietileno de dois litros, bem higienizadas e acondicionadas em caixas de isopor com gelo, sendo posteriormente levadas a laboratório. Para a determinação dos parâmetros foram seguidas as normas descritas em APHA (1998), especificadas na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros, métodos e referências utilizados para a análise da água dos pontos de coleta.

Parâmetro	Metodologia	Referência
pH	Peagômetro, Digimed, DM PH-2	APHA 4500-H+ B
Oxigênio dissolvido	Método eletroquímico - Oxímetro digital	-
Sólidos em suspensão	Gravimétrico	APHA 2540 D
Sólidos totais	Gravimétrico	APHA 2540 B
Sólidos dissolvidos	Gravimétrico	APHA 2540 C
Turbidez	Turbidímetro, Garden City, Helliage	APHA 2130 B
Condutividade elétrica	Condutivímetro, Digimed, CD-21	APHA 2510
Ferro (Fe ⁺² e Fe ⁺³)	Método da Fenantrolina	APHA 3500-Fe B
Ferro total	Digestão ácida / Espectrofotômetro de absorção Atômica	APHA 3500-Fe B
Manganês total	Digestão ácida / Espectrofotômetro de absorção Atômica	APHA 3500-Mn B

Avaliação da qualidade de água quanto ao risco de entupimento dos emissores

Para classificação da água utilizada em sistema de irrigação localizada em relação a problemas de entupimento devido a parâmetros físicos e químicos, foram observados os níveis de risco de obstrução para irrigação localizada, contidos na Tabela 3, assim identificando a efetividade do sistema de aeração e decantação. Além desta avaliação foi calculada a porcentagem de redução ou elevação para cada parâmetro avaliado, considerando o ponto de coleta 1 (PC1) como a base para se identificar a redução ou elevação do parâmetro em questão, também identificando-se a efetividade do sistema.

Além das análises citadas foi realizada a comparação entre os períodos de coleta dos meses de chuva e dos meses de seca, que foram de março a maio como período chuvoso, de junho a outubro como período seco e de novembro a fevereiro voltando ao período chuvoso.

Tabela 3. Classificação da água para irrigação localizada.

Fatores de entupimento	Níveis de Risco		
	Baixo (B)	Moderado (M)	Severo (S)
	Físico		
Sólidos em suspensão (mg L^{-1})	< 50	50 – 100	> 100
	Químico		
pH	< 7,0	7,0 – 8,0	> 8,0
Sólidos dissolvidos (mg L^{-1})	< 500	500 – 2000	> 2000
Condutividade elétrica (dS cm^{-1})	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
Ferro total (mg L^{-1})	< 0,2	0,2 – 1,5	> 1,5
Manganês (mg L^{-1})	< 0,1	0,1 – 1,5	> 1,5
Turbidez	Aceitável (A)		Inadequado (I)
	< 100 NTU		> 100 NTU

* NTU = unidade nefletométrica de turbidez. Fontes: NAKAYAMA & BUCKS (1991), AYERS E WESTCOT (1999), BRASIL (2005), BERNARDO et al. (2006) e CAPRA & SCICOLONE (2004).

Variação Temporal da Qualidade da Água

Durante todo o período de coleta, que foi de março de 2008 a fevereiro de 2009, os dados foram classificados em períodos de chuva e seca, em três períodos, que são os seguintes: 1 - de 20/03/2008 a 23/05/2008, classificados como - CHUVA1; 2 - de 25/06/2008 a 18/10/2008 classificados como – SECA; 3 – de 01/11/2008 a 10/02/2009 classificados como – CHUVA2.

Com a presente separação foram realizadas as análises temporais dos dados de qualidade de água. Na Tabela 8 estão apresentadas as médias dos dados para cada período distinto, adotando-se a nomenclatura (P1CHUVA1), que se refere ao ponto de coleta 1 e CHUVA1, seguindo-se a mesma lógica para os demais. A finalidade de se realizar tais análises é para se identificar as possíveis diferenças entre os períodos de coleta.

Análise estatística

Preservando a estrutura multivariada contida nos dados, foram aplicados três métodos estatísticos multivariados, visando classificar os pontos de coletas em grupos: análise de agrupamentos hierárquica, análise de agrupamentos não-hierárquica “k-means” e análise de componentes principais. Todas as análises multivariadas foram realizadas após a padronização das variáveis em que cada uma ficou com média 0 e variância 1. A análise de agrupamentos hierárquica (SNEATH & SOKAL, 1973) foi realizada calculando-se a distância euclidiana entre os pontos de coleta, para o conjunto das dez variáveis e utilizando o algoritmo de Ward para a obtenção dos agrupamentos dos pontos de coleta similares. A identificação dos pontos de coleta nos grupos também foi feita pelo “k-means” (HAIR et al., 2005) que pertence à classe dos métodos de agrupamentos não-hierárquicos, que complementa os resultados na discussão dos grupos, pois este método minimiza a variância dos acessos dentro de cada grupo.

A discriminação dos pontos de coleta foi feita através da análise de componentes principais, que permite condensar a quantidade da informação original contida em p variáveis ($p = 10$, neste estudo) em novas variáveis latentes ortogonais denominadas componentes principais, que são combinações lineares das variáveis originais criadas com os dois maiores autovalores da matriz de covariância dos dados (HAIR et al., 2005). Desta forma, o conjunto inicial de dez variáveis passou a ser caracterizado por duas novas variáveis latentes, o que possibilitou sua localização em figuras bidimensionais (ordenação dos pontos de coleta por componentes principais). A adequação desta análise é verificada pela quantidade da informação total das variáveis originais retida pelos componentes principais que mostram autovalores superiores à unidade (KAISER, 1958). Autovalores inferiores à unidade não dispõem de informação relevante. Todas as análises estatísticas foram processadas no software STATISTICA versão 7.0 (STATISTICA, 2004).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 estão apresentados os resultados médios das variáveis, risco de entupimento ao sistema de irrigação e porcentagem de redução proporcionada pelo sistema de aeração, decantação e filtração. Observa-se que o ponto de captação PC1 caracteriza-se por apresentar os piores valores para as variáveis analisadas, comparado com os demais pontos de coleta, demonstrando que o sistema de tratamento proporcionou melhoria da qualidade da água.

Os valores para sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos foram reduzidos, saindo-se do PC1, com água classificada como de moderado (M) risco de entupimento, passando para o PC6, depois do sistema de filtração, com remoção de 53% e 49% para essas duas variáveis, respectivamente. Os altos valores de sólidos em suspensão e dissolvidos encontrados no ponto de captação são devidos principalmente à degradação sofrida pela maioria dos mananciais da região em estudo, que devido à

Tabela 4. Valores médios dos parâmetros de qualidade da água e classificação quanto ao risco de obstrução de emissores para os pontos de coleta do sistema de aeração, tanque de decantação e filtragem.

Sólidos em suspensão (mg L⁻¹)						
Pontos de coleta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Média	74,1	62,5	56,5	54,7	48,2	34,8
Risco de entupimento	M	M	M	M	B	B
Remoção (%)	-	15,7	23,8	26,2	35,0	53,0
Turbidez (NTU)						
Pontos de coleta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Média	41,3	31,3	20,1	17,4	14,8	9,5
Risco de entupimento	A	A	A	A	A	A
Remoção (%)	-	24,2	51,3	57,9	64,2	77,0
Sólidos dissolvidos (mg L⁻¹)						
Pontos de coleta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Média	659,2	576,1	497,5	454,55	436,1	334,78
Risco de entupimento	M	M	B	B	B	B
Remoção (%)	-	12,6	24,5	31,0	33,8	49,2
pH**						
Pontos de coleta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Média	6,12	6,43	6,41	6,60	6,64	6,68
Risco de entupimento	B	B	B	B	B	B
Elevação (%)	-	5,1	4,7	7,8	8,5	9,2
Condutividade elétrica (dS cm⁻¹)						
Pontos de coleta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Média	0,0463	0,0458	0,0464	0,0449	0,0462	0,0458
Risco de entupimento	B	B	B	B	B	B
Remoção (%)	-	1,08	-0,22	3,02	0,22	1,08
Ferro total (mg L⁻¹)						
Pontos de coleta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Média	2,09	3,58	1,88	1,31	0,84	0,55
Risco de entupimento	S	S	S	S	M	M
Remoção (%)	-	-	10,05	37,32	59,81	73,68
Mn total (mg L⁻¹)						
Pontos de coleta	PC1	PC2	PC3	PC4	PC5	PC6
Média	0,030	0,1	0,021	0,015	0,012	0,008
Risco de entupimento	B	M	B	B	B	B
Remoção (%)	-	-	30,0	50,0	60,0	73,3

** para o pH a porcentagem referida é de elevação;
A = aceitável; B = baixo; M = moderado; S = severo

ausência de matas ciliares e grande porcentagem de solos degradados sem a utilização de técnicas conservacionistas favorecem o transporte de materiais sólidos (areia, silte, argila) e, ainda, detritos orgânicos carregados pelo escoamento superficial das águas pluviais.

Para os resultados de turbidez, identifica-se que estes sempre estiveram abaixo do limite máximo estabelecido na Resolução Nº 357/2005 do CONAMA (BRASIL, 2005), que é de 100 NTU. Embora não tenha sido identificado risco para essa variável, o sistema proporcionou redução de 77% do PC1 para o PC6.

Os valores médios de pH para a água de todos os pontos de coleta foram classificados como baixos ($\text{pH} < 7,0$), indicando não haver risco de obstrução ao sistema de irrigação localizada. Segundo LIBÂNIO (2005), valores muito baixos de pH podem causar corrosão e valores altos podem originar problemas de incrustações nas tubulações. Em relação à condutividade elétrica observou-se baixo risco de obstrução para a água de todos os pontos de coleta.

O teor de ferro total na água do córrego (PC1) foi de $2,09 \text{ mg L}^{-1}$, classificado como severo (S), quanto ao risco de obstrução de emissores. Os valores decresceram a partir do PC3, ao longo da passagem da água pelo sistema de aeração e decantação, chegando até o PC6 com $0,55 \text{ mg L}^{-1}$, com nível de risco moderado. A redução do ferro total do PC1 para o PC6 foi de 74%.

Os teores de manganês apresentaram-se baixos em todos os pontos de coleta exceto para o PC2, ponto no qual há acúmulo de grandes quantidades de aglomerados que contém precipitados com manganês e ferro, de modo que os demais pontos apresentam valores considerados de baixo risco. A redução do risco desde o ponto PC2 (aerador) para o PC6 foi de 73%, demonstrando que o manganês foi precipitado no tanque de decantação e no sistema de filtragem.

O dendrograma obtido pela análise de agrupamentos (Figura 6) indica que a variação de 3,20 para 4,90 da distância Euclidiana permitiu a divisão dos pontos de coleta em dois grupos distintos: I e II. No grupo I ficaram concentrados os pontos de coleta com baixa qualidade de água e, no grupo II, os pontos com média a alta

qualidade de água, em relação a problemas de entupimento devido a fatores físicos e químicos.

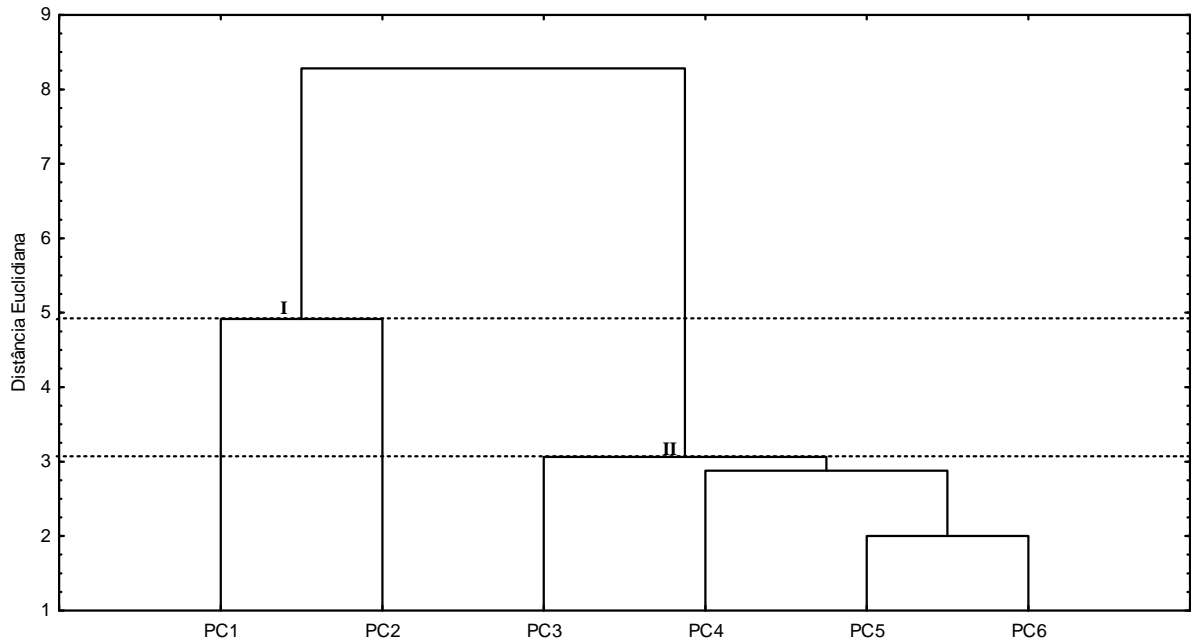


Figura 6. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos com a formação de grupos dos pontos de coleta (PC) segundo os parâmetros utilizados para avaliação da qualidade da água.

O grupo I, constituído pelos pontos de coleta PC1 (córrego) e PC2 (sistema de aeração), ficou caracterizado por apresentar risco de entupimento de moderado a severo em relação aos valores da Tabela 1. No grupo II estão dispostos os pontos de coleta ao longo do tanque de decantação e após o mesmo, que apresentam características físicas e químicas da água com níveis de risco entre baixo e moderado.

Considerando o número de grupos igual a dois, aplicou-se o método de agrupamentos “k-means” que confirma a ordenação obtida na análise de agrupamentos por método não-hierárquico. Pelos valores de probabilidade, pode-se verificar a importância individual das variáveis na diferenciação dos grupos I e II. Na tabela 5 são apresentados os resultados da análise de variância com soma de quadrados, graus de liberdade, valores de F e probabilidade (P).

Tabela 5. Análise de variância para cada variável dos grupos formados pela análise não-hierárquica de agrupamentos “k-means”.

Variável	Soma de quadrados entre grupos	Graus de Liberdade	Soma de quadrados dentro dos grupos	Graus de liberdade	Valores de F	Prob. (P)
Oxigênio dissolvido (OD)	1,037	1	117,962	118	1,038	0,310
Turbidez (NTU)	17,257	1	101,743	118	20,014	0,000
Condutividade elétrica (CE)	20,450	1	98,550	118	24,486	0,000
pH	1,677	1	117,323	118	1,686	0,197
Sólidos dissolvidos	71,413	1	47,587	118	177,079	0,000
Sólidos em suspensão	78,684	1	40,316	118	230,294	0,000
Fe ⁺²	0,048	1	118,952	118	0,048	0,827
Fe ⁺³	0,208	1	118,792	118	0,207	0,650
Ferro total	9,633	1	109,367	118	10,393	0,001
Mn total	7,729	1	111,271	118	8,197	0,005

Prob. – probabilidade (P)

Em PC1 e PC2 (grupo I) os valores elevados de turbidez, sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, ferro total e Mn total, caracterizam a água como de alto risco de dano a sistemas de irrigação localizada. Já o grupo II (PC3 a PC6) é caracterizado por níveis menores dessas variáveis, assim a água nesses pontos apresenta melhor qualidade e menor risco de dano. O grau de significância pode ser observado na Figura 6, pelas maiores distâncias entre os pontos.

Na Figura 7 são indicadas as médias padronizadas das características físicas e químicas da água para cada grupo, segundo análise de agrupamentos pelo método não-hierárquico “k-means”. Para OD, pH, Fe⁺² e Fe⁺³ os valores não apresentam diferenças significativas ($p > 0,05$), indicando que essas variáveis não foram representativas para diferenciação dos grupos (Tabela 4).

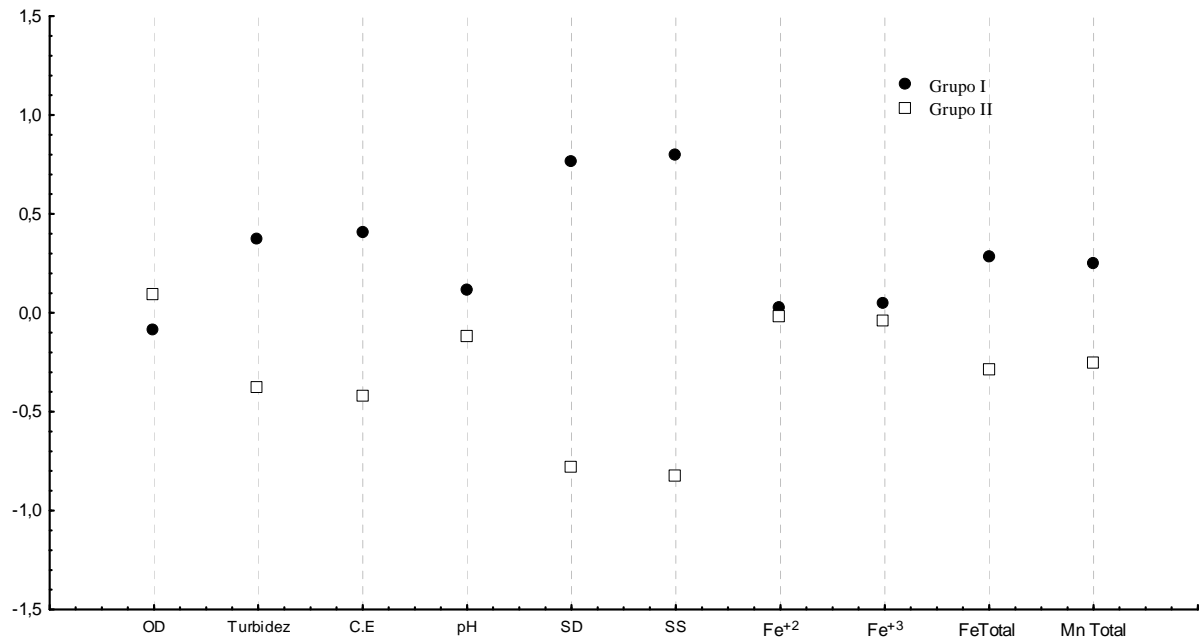


Figura 7. Médias padronizadas das características físico-químicas da água para cada grupo, segundo análise de agrupamentos não-hierárquica “k-means”.

A análise de componentes principais permitiu uma única distribuição dos pontos de coleta (componente principal 1 x componente principal 2) (Tabela 6), visto que somente dois autovalores foram superiores a 1: maior autovalor 6,75 (componente com melhor retenção da variabilidade original) e o segundo maior autovalor 2,05 (componente com melhor retenção da variabilidade excluindo a variabilidade retida no primeiro componente). Os dois componentes principais juntos possibilitaram ordenação bidimensional dos pontos de coleta e das variáveis, permitindo a construção de um gráfico “biplot”. A quantidade da informação total das variáveis originais, retida nos dois componentes principais, foi de 88% [62,4% (primeiro componente) + 25,7% (segundo componente)] (Figura 8).

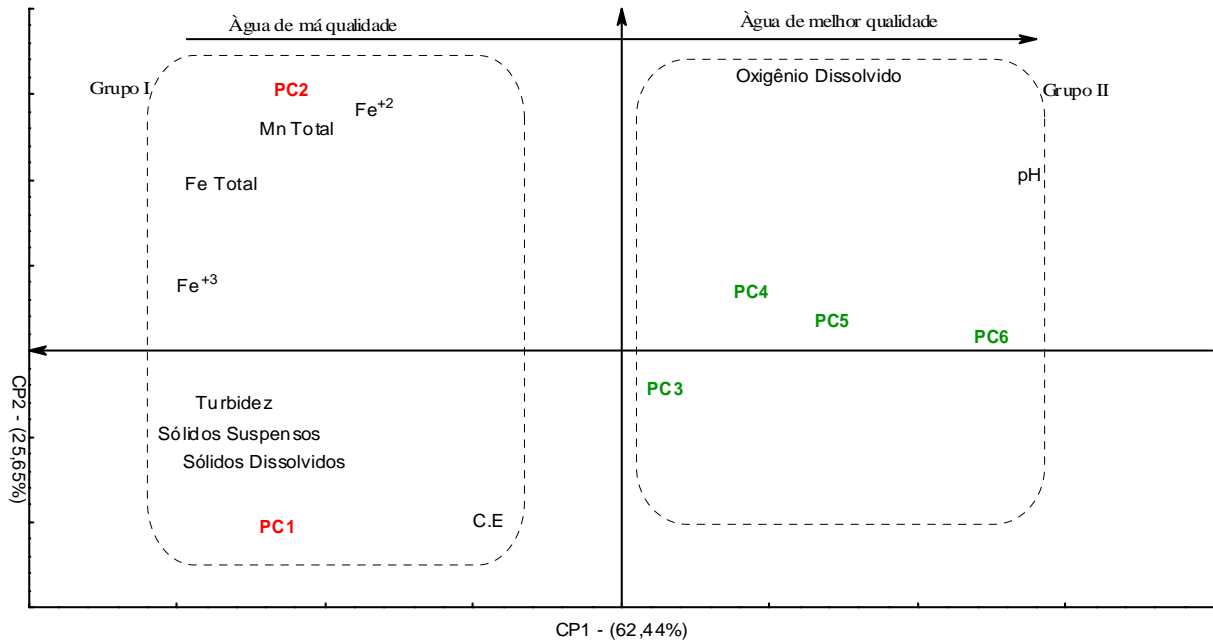


Figura 8. Dispersão (gráfico “biplot”) dos pontos de coleta em função das características físicas e químicas da água.

A ordenação dos pontos de coleta segundo os dois primeiros componentes principais confirma a ordenação dos pontos de coleta em dois grupos obtida pelas análises de agrupamentos, hierárquica e não-hierárquica.

A representação gráfica e a correlação das variáveis nos componentes principais (Figura 8 e Tabela 6) permitiram caracterizar as variáveis que mais discriminaram na formação dos grupos I e II. Os sólidos dissolvidos (-0,98), sólidos suspensos (-0,94), turbidez (-0,98), CE (-0,51), Fe²⁺ (-0,59), Fe³⁺ (-0,98), ferro total (-0,85) e Mn total (0,70) são responsáveis pela discriminação do grupo I, localizado à esquerda (CP1: correlações negativas), enquanto o oxigênio dissolvido (-0,89) e a variável pH (0,87) são responsáveis pela discriminação do grupo II, localizado à direita (correlação positiva). No segundo componente principal, as variáveis oxigênio dissolvido e pH discriminaram os pontos de coleta localizados na parte superior do gráfico (Figura 8), indicando que esses pontos de coleta apresentaram maior valor de pH e OD.

A partir dos resultados da análise de componentes principais, observa-se que o grupo I é caracterizado por apresentar variáveis com valores médios que caracterizam

níveis de risco de entupimento dos emissores de moderado a severo (Tabela 1). Por sua vez, o grupo II é caracterizado por apresentar pontos de coleta (PC4, PC5 e PC6) com água de menores riscos de entupimento, segundo a classificação de NAKAYAMA & BUCKS (1991).

Tabela 6. Correlação entre componentes principais (CP1 e CP2) e características físicas e químicas da água.

Variável	CP1	CP2
Sólidos dissolvidos	-0,9783	-0,1775
Sólidos em suspensão	-0,9406	-0,2163
Turbidez	-0,9764	-0,1806
Condutividade elétrica (CE)	-0,2834	-0,5077
Fe ⁺²	-0,5928	0,7221
Fe ⁺³	-0,9822	0,0727
Ferro total	-0,8539	0,4443
Mn total	-0,6962	0,6869
Oxigênio dissolvido (OD)	0,2898	0,8862
pH	0,8686	0,4641

Analisando-se conjuntamente as variações do Fe⁺², Fe⁺³, ferro total e oxigênio dissolvido do ponto de captação de água (PC1) até o final do sistema (PC6) (Figura 7), verifica-se que as baixas concentrações do Fe⁺² e Fe⁺³ mantiveram-se desde o PC1 até o fim do sistema (PC6), o que poderia ser justificado pelo fato de haver bom nível de oxigênio dissolvido (OD) e pH a partir de 6,0, fazendo com que já no PC1 praticamente todo o ferro estivesse na forma de óxidos ou hidróxidos de Fe⁺³, complexos de Fe⁺³ com matéria orgânica ou imobilizado em microorganismos, revelando pouco Fe⁺² e Fe⁺³ livres, mas grandes teores de ferro total no PC1 e PC2. Assim, do PC2 até o PC6, verifica-se redução contínua nos teores do ferro total, significando que este foi decantado (PC2 a PC5) e retido na filtração (PC6). Com esses dados é possível afirmar que o sistema de aeração, embora tenha induzido aumento no teor de OD, este não foi importante para a oxidação de Fe⁺² para Fe⁺³, pois os níveis de Fe⁺² eram baixos já no ponto de captação e permaneceram praticamente inalterados ao longo de

todo o sistema. Entretanto, o sistema de aeração contribuiu para decantação de Fe total no percurso do tanque e o não decantado ficou retido na filtragem. Dessa forma, a eficiência do sistema na diminuição do teor de ferro total da água parece estar relacionada mais a processos físicos (turbilhonamento da água) que pode estar ressuspendendo todo o material insolúvel, o que pode fazer com que a re-precipitação seja mais uniforme e eficiente pois, na Figura 6, pode-se observar o comportamento do teor de ferro total à medida que se avança nos pontos de coleta, retratando a distribuição diferenciada ao longo do sistema, evidenciando nítida melhoria da qualidade da água. Os valores com nível severo (PC1, PC2 e PC3) reduziram-se para nível moderado (PC4, PC5 e PC6), com 74% de redução deste parâmetro do PC1 (2,1 mg L⁻¹) para o PC6 (0,55 mg L⁻¹). Em relação ao OD, o teor aumentou do PC1 para o PC2, mantendo-se em nível elevado e praticamente constante do PC3 até o PC6.

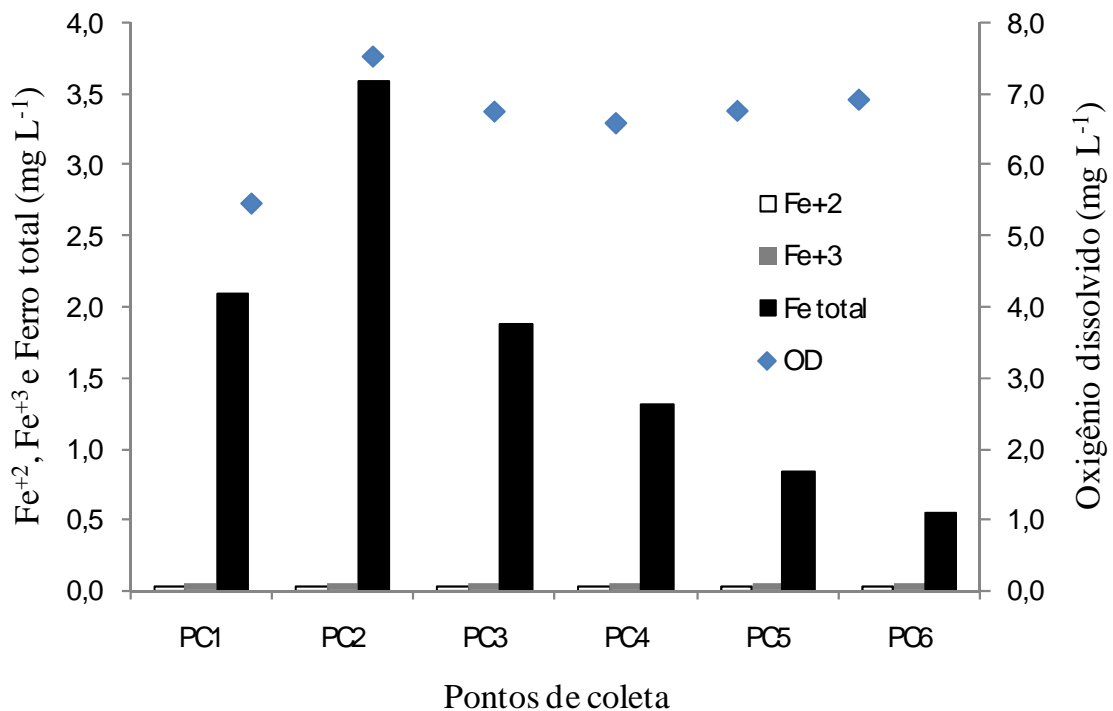


Figura 9. Concentrações de Fe²⁺, Fe³⁺, Fe total e oxigênio dissolvido (OD) ao longo do sistema de aeração, decantação e filtragem.

Os dados encontrados nesta pesquisa são semelhantes aos obtidos por VANZELA (2004) e FRANCO (2008) para o ferro total, com médio a alto risco de dano a sistemas de irrigação localizada.

Variação Temporal da Qualidade da Água

O teste estatístico multivariado de Wilks' Lambda demonstrou diferenças significativas, quanto à comparação entre as etapas estudadas (Tabela 7).

Os resultados dos valores médios das análises físicas e químicas da água do sistema de aeração, decantação e filtração durante as três etapas da pesquisa, estão na Tabela 1.

A análise da variância multivariada (MANOVA) revelou que os vetores de médias dos períodos estudados 1 até 3 possuem diferenças significativas com intervalo de confiança de 95% através do teste de Wilks (Tabela 7).

Tabela 7. Probabilidade para interação entre os períodos de coleta

Comparação entre os períodos	Prob.* (P)
Chuva 1 com Seca	0,017
Chuva 1 com Chuva 2	0,049
Seca com Chuva 2	0,017

*Diferença entre os tratamentos em cada período pelo teste de multivariado de Wilks' Lambda, ao nível de 5% de significância.

Ainda através da Tabela 7, conseguimos observar diferenciação maior da seca com os períodos de chuva1 e chuva2, que entre os períodos de chuva, sendo natural que esses sejam mais semelhantes.

Tabela 8. Variáveis físicas e químicas nas três etapas do sistema de aeração, decantação e filtração.

ETAPAS	Oxigênio dissolvido (mg L ⁻¹)	Turbidez (NTU)	C.E (dS cm ⁻¹)	pH	Sólidos Dissolvidos (mg L ⁻¹)	Sólidos Suspensos (mg L ⁻¹)	Fe ⁺² (mg L ⁻¹)	Fe ⁺³ (mg L ⁻¹)	Ferro total (mg L ⁻¹)	Mn total (mg L ⁻¹)
P1CHUVA1	5,30	56,84	26,48	5,7	658,80	106,40	0,040	0,041	2,31	0,032
P2CHUVA1	7,46	55,63	27,39	6,2	541,00	74,80	0,039	0,045	3,84	0,284
P3CHUVA1	6,94	40,01	27,93	6,1	434,20	65,00	0,037	0,038	2,43	0,014
P4CHUVA1	7,24	32,86	26,36	6,4	437,40	56,60	0,038	0,038	0,96	0,022
P5CHUVA1	7,04	30,54	24,69	6,4	412,60	48,80	0,038	0,039	0,66	0,006
P6CHUVA1	7,06	20,54	23,47	6,6	266,20	32,60	0,038	0,039	0,49	0,002
P1SECA	5,19	34,74	45,34	6,2	431,13	41,63	0,036	0,044	1,90	0,010
P2SECA	7,63	27,19	44,30	6,4	350,50	40,25	0,037	0,043	2,31	0,021
P3SECA	6,74	13,77	45,09	6,5	322,25	35,75	0,037	0,042	1,59	0,021
P4SECA	6,06	12,74	44,80	6,8	273,00	33,13	0,037	0,043	1,25	0,005
P5SECA	6,58	9,55	45,24	6,8	249,00	28,88	0,037	0,040	0,82	0,010
P6SECA	6,79	6,81	45,56	6,6	219,75	23,63	0,036	0,039	0,55	0,005
P1CHUVA2	5,84	37,57	61,64	6,4	920,00	88,00	0,036	0,044	2,14	0,050
P2CHUVA2	7,50	18,75	60,57	6,7	859,10	79,14	0,039	0,042	4,86	0,067
P3CHUVA2	6,64	13,01	61,11	6,6	742,90	74,00	0,036	0,038	1,84	0,026
P4CHUVA2	6,73	11,53	60,60	6,6	674,29	77,86	0,037	0,038	1,64	0,020
P5CHUVA2	6,79	9,58	62,66	6,68	666,67	69,71	0,0366	0,0394	0,99	0,0186
P6CHUVA2	6,99	4,74	61,91	6,85	515,24	49,14	0,0361	0,0378	0,60	0,0157

Chuva 1=20/03/2008 a 23/05/2008; Seca=25/06/2008 a 18/10/2008; Chuva 2=01/11/2008 a 10/02/2008; P1 a P6= pontos de coleta

Nos resultados apresentados na Tabela 8, verifica-se a ocorrência de redução dos valores médios de turbidez, ao longo das três etapas estudadas para todos os pontos de coleta analisados. Quanto aos valores de sólidos suspensos observa-se que na primeira e terceira etapas de chuva os cinco primeiros pontos de coleta apresentaram risco médio de entupimento restando apenas o ponto 6 com concentração classificada como de baixo risco de entupimento de emissores (NAKAYAMA & BUCKS, 1991). Para a etapa seca a concentração de sólidos suspensos sempre esteve com baixo risco de entupimento em todos os pontos de coleta.

É notória a tendência de queda apresentada pelas concentrações médias de sólidos dissolvidos da primeira fase para a segunda e, depois, aumento na última fase (Tabela 8). A ocorrência da diminuição da concentração de sólidos dissolvidos na segunda fase foi porque na época seca o nível das águas do córrego se mantinha mais

baixo e com menor vazão. O aumento da concentração de sólidos dissolvidos da fase 2 para a fase 3 ocorreu devido a existência de grandes quantidades de sedimentos orgânicos e inorgânicos no fundo do tanque de decantação.

Embora os valores médios de condutividade elétrica para as três etapas tenham apresentado comportamento crescente, ao longo do tempo, os valores foram classificados como baixos, indicando não haver risco de obstrução ao sistema de irrigação localizada.

O pH da água do sistema esteve sujeito a poucas variações nas diferentes fases do ano como pode ser observado na Tabela 8. No decorrer das 3 etapas os valores de pH variam de 6,8 na terceira fase (maior valor) a 5,7 (menor valor) na primeira fase, sendo que nas 3 fases os valores demonstraram haver risco de entupimento baixo (NAKAYAMA & BUCKS, 1991).

A concentração média de ferro total na água no ponto de captação (P1) na primeira fase das chuvas reduziu de 2,31 mg L⁻¹ para 1,90 mg L⁻¹ na época seca, aumentando novamente para 2,14 mg L⁻¹ no segundo período das chuvas. Os altos valores de ferro total nas épocas chuvosas (março a maio e novembro a fevereiro), provavelmente são devidos a enxurradas oriundas de solos argilosos ricos em óxidos de ferro, nas áreas adjacentes ao córrego que abastecia o tanque de decantação. Na segunda fase (junho até outubro) a concentração de ferro total diminuiu para 1,90 mg L⁻¹, nesta época seca as precipitações são baixas e conseqüentemente as contribuições devido ao escoamento superficial para o córrego diminuem, implicando em redução na concentração de ferro total. Para as três etapas analisadas no ponto 6, os valores de ferro total sempre estiveram apresentando risco moderado de entupimento de emissores (NAKAYAMA & BUCKS, 1991).

A concentração de manganês total na água do sistema de aeração, decantação e filtragem em todas as amostras realizadas nas 3 etapas, sempre foram valores baixos não representando risco de obstrução de gotejadores.

No decorrer das três etapas os valores de Fe⁺² e Fe⁺³ mantiveram-se sempre com baixas concentrações indicando que praticamente todo o ferro já estaria formando compostos pouco dissociados.

A concentração de oxigênio dissolvido manteve valores semelhantes nas etapas analisadas predominando valores acima de $6,5 \text{ mg L}^{-1}$ de oxigênio dissolvido.

De maneira geral, pode-se afirmar que a qualidade da água utilizada para irrigação variou durante as diferentes épocas do ano, sendo que o risco de potencial de entupimento dos gotejadores só foi médio ou alto com relação às variáveis sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e ferro total.

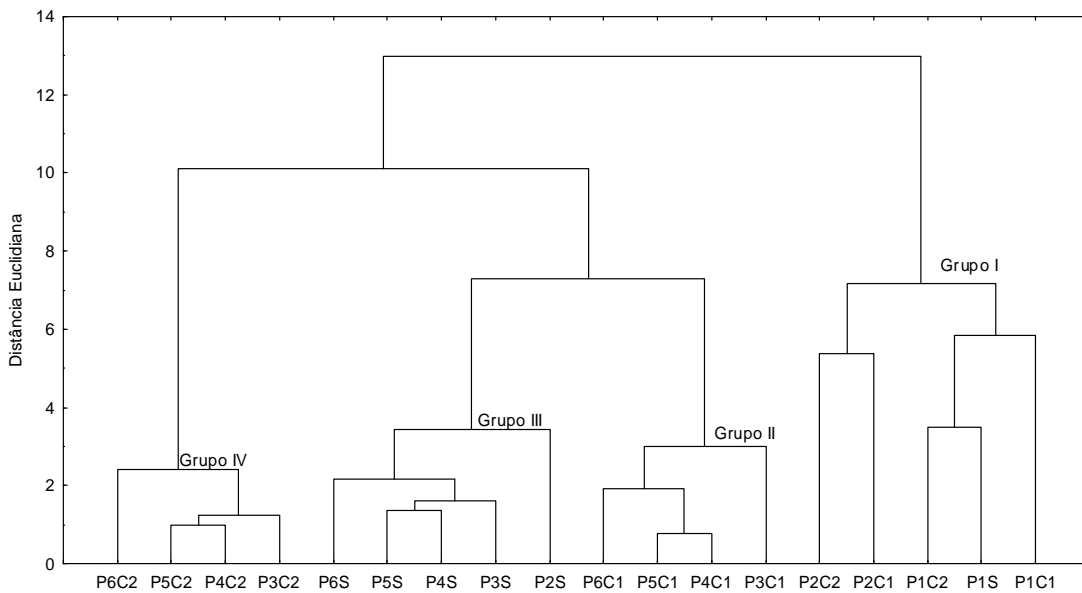


Figura 10. Dendrograma resultante da análise hierárquica de agrupamentos com a formação de grupos. Pontos (P) e dos períodos de coleta (Chuva – C e Seca - S) segundo os parâmetros utilizados para avaliação da qualidade da água.

A análise de agrupamentos classificou os pontos de coleta nas etapas analisadas em quatro grupos, sendo o grupo 1 constituídos pelos primeiros pontos de coleta (córrego) nas três etapas estudadas, além do segundo ponto de coleta (aerador) nos dois períodos chuvosos que apresentam águas de pior qualidade com elevadas concentrações de sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e ferro total. Os grupos 2, 3 e 4 correspondem aos pontos de coleta nas etapas de chuva1, seca e chuva2, observa-se que não ocorrem variações nos pontos de coleta entre os períodos analisados (Figura 10).

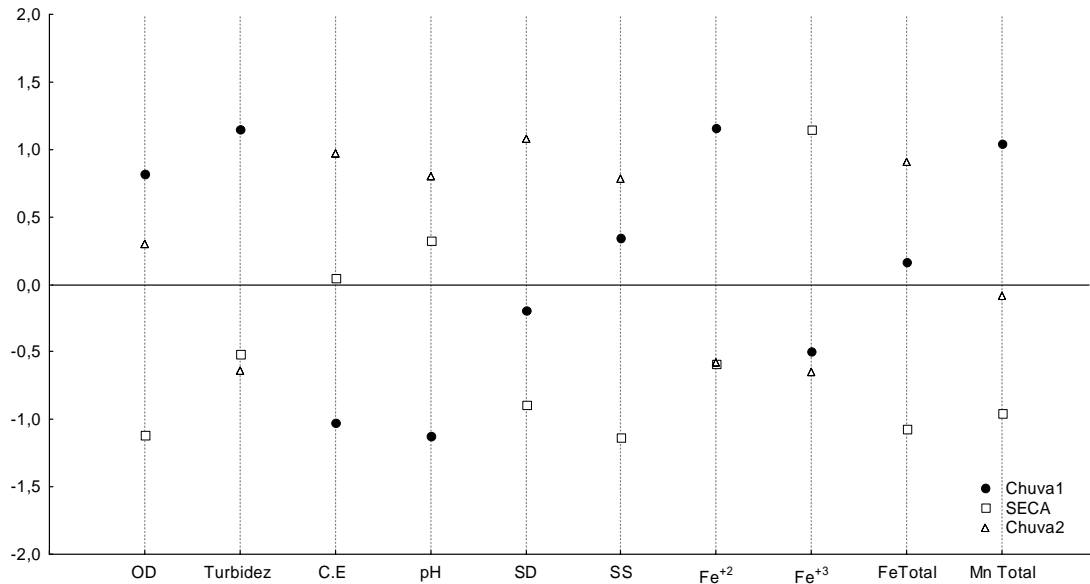


Figura 11. Médias padronizadas das características físicas e químicas da água considerando-se os períodos de chuva e seca.

Como pode-se observar na Figura 11, o período seco é melhor período com relação aos parâmetros estudados, observando-se maior quantidade de parâmetros com valor negativo ou próximo a zero, pois a ausência ou a menor quantidade destes parâmetros identifica água de melhor qualidade para irrigação localizada. Assim, o melhor período para irrigação localizada foi a seca, depois a chuva1 e com pior qualidade a chuva2. Estes dados podem ser explicados pela influência das chuvas nestes períodos, ou seja, quanto maior for a intensidade de chuvas pior fica a qualidade da água para a irrigação localizada.

IV. CONCLUSÕES

O sistema com aeração, decantação e filtração melhorou a qualidade da água, reduzindo os níveis de risco de entupimento de severo para médio e de médio para baixo para irrigação localizada.

Os níveis de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH, Fe^{+2} e Fe^{+3} praticamente não variaram no sistema de tratamento, mas o mesmo reduziu significativamente a turbidez e as concentrações de sólidos dissolvidos, sólidos em suspensão, ferro total e Mn total.

Os teores de Fe^{+2} e Fe^{+3} livres foram baixos e praticamente constantes ao longo do sistema, indicando que a eficiência de remoção de ferro total deveu-se à precipitação do ferro já oxidado e presente na forma insolúvel no ponto de captação.

V. REFERÊNCIAS

ADAD, J. M. T. **Qualidade da água**: aspectos físicos, físico-químicos e químicos. Belo Horizonte: UFMG, 1971. 135 p.

APHA - American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed., New York, AWWA, WPCF, 1998. 1360 p.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de GHEY, H.R.; MEDEIROS, J.F.; DAMASCENO, F.A.V. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p.

BARROS, A.R.B. **Remoção de Íons Metálicos em Água Utilizando Diversos Adsorventes**. 2001. 105f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2001.

BEEBE, K.R.; PELL, R.J.; SEASHOLT, M.B. **Chemometrics: A practical guide**. New York, John Wiley & Sons, 1998, 348p.

BENEFIELD, L.D.; JUDKINS JÚNIOR, W.; WEAND, B.L. **Process chemistry for water and wastewater treatment**. Engiewood Cliffs: Prentice Hall, p. 35-54. 1982.

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

BOMAN, B.J. Effects of orifice size on microsprinkler clogging rates. **Transactions of the ASAE**, St. Joseph, v.11, n.6, p. 839-43, 1995.

BOON, A.G. Oxygen transfer in the activated sludge process. In: MATTOCK, G. **New processes of waste water treatment and recovery**. London: Ellis Horwood, 1978. cap. 1, p. 17-33.

BOYD, C. E. **Water quality in ponds for aquaculture**. Alabama. Auburn University, 1990, 482p.

BRASIL. **Resolução Nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). 2005.

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

CHRISTOFIDIS, D. O futuro da irrigação e a gestão das águas. **Item**, Brasília, n.80, p.40-47, 2008.

DI BERNARDO, L. **Coagulação e Flocculação**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, SP, 1992. 192 p.

ENGLISH, S.D. **Filtration and water treatment for micro-irrigation**. In: International Drip/Trickle Irrigation Congress, 3, Fresno, 1985. Proceedings... St. Joseph: ASAE, 1985. p. 50-57.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia**. Rio de Janeiro: Interciência/FINEP, 1998. 575p.

FEITOSA FILHO, J.C.; MEDIEROS, J.F.; BOTREL, T.A.; PINTO, J.M. Avaliação de Venturi funcionando com água como fluido motriz e o ar como fluido succionado com descarga submersa. **Irriga**, Botucatu, v.2, n.2, p. 68-75, 1997.

FEITOSA FILHO, J.C.; BOTREL, T.A.; PINTO, J.M. **Variabilidade na distribuição de ar na água utilizando um sistema com tubulações e emissores submersos e um injetor tipo Venturi**. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 27, 1998. Poços de Caldas. Anais... Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. v.1, 1998. p.76-78.

FEITOSA FILHO, J.C.; BOTREL, T.A.; PINTO, J. M.; CAVALCANTE, L.F. Desempenho de um sistema de aeração de reservatório de água constituído por tubos verticais ranhurados com descarga submersa. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.19, n.1., 1999 p.75-78

FIORAVANTI, C.D.; VANZELA, L.S.; MAURO, F.; GOMES, D.R.; HERNANDEZ, F.B.T. **Diagnóstico da qualidade de água para a irrigação do córrego Três Barras no município de Marinópolis - SP**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33, 2004, São Pedro. **Anais...** Jaboticabal: CONBEA, 2004

FORD, H.W.; TUCKER, D.P.H. Blockage of drip irrigation filters and emitters by iron-sulfur-bacterial products. **Hortscience**, v.10, n.1, p. 62-64, 1975.

FRANCO, R.A.M. **Qualidade da água para irrigação na microbacia do córrego do Coqueiro no Noroeste Paulista**. 2008. 84 f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2008.

GASTALDINI, M. C. C.; MENDONÇA, A. S. F. Conceito para a avaliação da qualidade da água. In: PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. (Orgs.) **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre: ABRH, 2003. cap.1, p.3-13.

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

GROBE, J.R. **Aplicações da estatística multivariada na análise de resultados em experimentos com solos e animais**. 2005. 145 f. (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

HAIR, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAN, R.L.; BLACK, W. **Análise multivariada de dados**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005, 593 p.

HERNANDEZ, F.B.T.; SOUZA, S.A.V. DE; ZOCOLER, J.L.; FRIZZONE, J.A. Simulação e efeito de veranicos em culturas desenvolvidas na região de Palmeira d'Oeste, Estado de São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.23, n.1, p.21-30, 2003.

HERNANDEZ, F.B.T.; VANZELA, L. S. **Transporte de sedimento na microbacia do córrego Três Barras, Marinópolis, SP**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 36, 2007, Bonito. **Anais...** Bonito: CONBEA, 2007.

KAISER, H.F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis, **Psychometrika**, v.23; p.187-200, 1958.

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

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Campinas: **Átomo**, 2005. 444 p.

MACEDO, J.A.B. **Métodos laboratoriais de análises físico-químicas e microbiológicas**. 3. ed. Belo Horizonte: CRQ-MG, 2005. 450 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.

NAKAYAMA, F. S.; BUCKS, D. A. Trickle irrigation for crop production. St. Joseph: **ASAE**, 1986. 383p.

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

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan , 1988. 434p.

PATERNIANI, J.E.S. **Utilização de mantas sintéticas não tecidas na filtração lenta em areia de águas de abastecimento**. 1991. 245f. Dissertação (Tese de Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 1991.

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

PIZARRO, F. Riegos localizados de alta frecuencia. 3 ed. Madrid: **Mundi Prensa**, 1996, 471p.

RAVINA, I.; PAZ, E.; SOFER, Z.; MARCU, A.; SHISHA A.; SAGI, G. Control of emitter clogging in drip irrigation with reclaimed wastewater. **Irrigation Science**, v.13, p.129-39, 1992.

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

RIJSBERMAN, F. R. Water scarcity: fact or fiction? **Agricultural Water Management, Amsterdam**, v.8, p.5 – 22, 2006.

RUMP, H. H.; KRIST, H. **Laboratory manual for the examination of water, waste water, and soil**. New York VCH, 1992, 190p.

SILVA PAZ, V. P; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.4, n.3, p.465-473.2000.

SNEATH, P.H.; SOKAL, R.R. **Numerical taxonomy: The principles and practice of numerical classification**, San Francisco, 1973, 573p.

STATISTICA. **Data analysis software system**, *Version 7.0*, StatSoft Inc., 2004.
Disponível em: <www.statsoft.com>

TELLES, D. D.; DOMINGUES, A.F. Água na agricultura e pecuária. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3. ed. São Paulo: Escrituras Editoras, 2006. cap.10, p.325-364.

TOWNSEND, C. R.; COLIN, R. T.; BEGON, M.; HARPER, J. H. **Fundamentos em ecologia**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. p. 466.

TUNDISI, J. G.; BRAGA, B.; REBOUÇAS, A. C. Os recursos hídricos e o futuro: síntese. In: REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Orgs.). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3.ed.. São Paulo: Escrituras Editoras, 2006. cap. 23, p.739-748.

VARNER, D. ; SKIPTON, S. ; HAY, D. ; JASA, P. **Drinking water: iron and manganese**. University of Nebraska: Neb Guide, G96 – 1280 - A. <http://www.ianr.unl.edu/pubs/water/g1280.htm>. 03/02/2000.

VANZELA, L.S. **Qualidade de água para irrigação na microbacia do córrego Três Barras no município de Marinópolis, SP**. 2004. 96f. Dissertação (Mestrado em Sistema de Produção) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2004.

VIEIRA, G.H.S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, J.G.F.; RAMOS, M.M.; SILVA, C.M. **Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.8, n.1, p.1-6, 2004.