

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

VANESSA RIBEIRO URBANO

**APLICAÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO TRATADA NO CULTIVO DE ALFACE
(*Lactuca sativa* L.)**

**ARARAS
2013**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

VANESSA RIBEIRO URBANO

APLICAÇÃO DE ÁGUA DE REÚSO TRATADA NO CULTIVO DE ALFACE
(*Lactuca sativa* L.)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA), da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) como requisito para a obtenção do título de **Mestre em Agricultura e Ambiente**.

Orientador: Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza

Co-orientador: Prof. Dr. Reinaldo Gaspar Bastos

ARARAS
2013

**Ficha catalográfica elaborada pelo DePT da
Biblioteca Comunitária da UFSCar**

U72aa Urbano, Vanessa Ribeiro.
Aplicação de água de reúso tratada no cultivo de alface
(*Lactuca sativa* L.) / Vanessa Ribeiro Urbano. -- São Carlos :
UFSCar, 2013.
87 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São
Carlos, 2013.

1. Agricultura. 2. Águas residuais. 3. Irrigação. 4.
Coliformes. 5. Salinização do solo. I. Título.

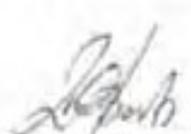
CDD: 630 (20^a)

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO
DE
VANESSA RIBEIRO URBANO
APRESENTADA AO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA
E AMBIENTE, DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS, *01 de*
fevereiro de 2013.

BANCA EXAMINADORA:



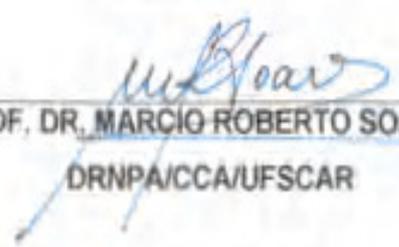
PROF. DR. CLAUDINEI FONSECA SOUZA
ORIENTADOR
DRNPA/CCA/USFSCAR



PROF. DR. REINALDO GASPAR BASTOS
CO-ORIENTADOR
DTAISER/CCA/USFSCAR



DRA. REGINA CÉLIA MATOS PIRES
IAC/CAMPINAS



PROF. DR. MARCIO ROBERTO SOARES
DRNPA/CCA/USFSCAR

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de alguma forma colaboraram para que eu chegasse aqui, me apoiaram nos momentos difíceis e compartilharam minhas alegrias nesses dois anos, em especial gostaria de agradecer:

À minha mãe, que sempre me apoiou e incentivou ao alcance dos meus objetivos, obrigada por me ajudar a vencer meus medos, por seu amor incondicional, por ser presente em minha vida e fazer toda a diferença nela, amo você;

Ao meu noivo Isac, obrigada por acreditar que eu conseguiria quando até eu mesma tinha dúvidas, obrigada pelo companheirismo e amizade, toda sua paciência e seu amor, as dificuldades ficam fáceis com você ao meu lado;

A meu pai, (*in memoriam*), obrigada por ter me apoiado em um dos meus maiores passos;

Ao Prof. Claudinei Fonseca Souza, pela orientação, amizade e oportunidades que me deu, muito obrigada pela confiança e por esses anos de convivência nos quais aprendi muito com você;

Ao Prof. Reinaldo Gaspar Bastos, obrigada pelos ensinamentos e amizade;

Ao Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental pela estrutura dos laboratórios, pelo pronto atendimento dos professores e apoio;

Ao programa de pós-graduação em Agricultura e Ambiente pela oportunidade e apoio;

Ao professor Marcio Roberto Soares, pelas contribuições em meu trabalho, por ser sempre prestativo e principalmente pela amizade, muito obrigada;

Aos professores José Geanini Peres e José Carlos Casagrande pelo auxílio durante o desenvolvimento do meu experimento, por estarem sempre prontos a me atender e me orientar nas dificuldades que tive;

Ao João Luiz Consoni, pelo apoio, pelas inúmeras conversas e por sua amizade;

Ao Grupo de Pesquisa em Engenharia de Água Solo e Ambiente, onde acima de tudo conquistei amigos que levarei comigo, André, Eduardo, Fabiana, Felipe, Glaucia, Higor, Katarina, Marcus Paulo, Paulo Eduardo e Thaís;

Aos amigos Aline, Fabiana, Jéssica, Lígia, Mariana, Maria Olívia, Priscila, Rafael e Rose pelo incentivo, amizade e alegrarem mais meu dia-a-dia;

Aos companheiros do mestrado, turmas 2011, 2012 e 2013, obrigada por compartilhar esses anos comigo;

Ao Centro de Ciências Agrárias pela estrutura que me atendeu completamente, pelos técnicos e funcionários sempre prestativos em tudo que precisei;

À Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo pela oportunidade e confiança depositada através da concessão de bolsa de estudos e suporte financeiro;

Ao Centro de Apoio aos Profissionais do Ensino Superior pela concessão de bolsa de estudos;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo suporte financeiro no desenvolvimento deste trabalho;

Obrigada a todos que de alguma forma tornaram possível minha trajetória até aqui e são parte responsáveis pelo meu amadurecimento e crescimento profissional aqui conquistado.

O preço do sucesso é trabalho duro, dedicação à tarefa do momento e determinação de dar o máximo de si sempre, tanto nas vitórias como nas derrotas.

Vince Lombardi

RESUMO

A preocupação em desenvolver estratégias para minimizar o problema da escassez de água é crescente e atual. Como grande consumidora da água doce disponível, a agricultura é o setor com maior potencial de aplicação da água de reúso. Este trabalho desenvolvido no CCA/UFSCar avaliou, em laboratório, as propriedades físicas e químicas do solo irrigado com água de reúso tratada após aplicação de lâmina de irrigação correspondente ao cultivo de cinco ciclos de alface (*Lactuca sativa* L.) e, em casa de vegetação, as características sanitárias e a massa da cultura de alface "Elisa" e as características físicas, químicas e microbiológicas do solo após o cultivo com água de reúso, proveniente da estação de tratamento de esgoto da universidade. No experimento em laboratório, dezoito amostras indeformadas de solo foram acopladas em permeâmetro de carga constante e receberam lâmina de irrigação referente a cinco ciclos de cultivo de alface, 0,58, 1,16, 1,74, 2,32 e 2,9 L de água para cada ciclo. As amostras foram divididas em cinco grupos que receberam água de reúso e um grupo controle, que recebeu água destilada. Amostras de solo foram coletadas para determinar a granulometria, condutividade hidráulica saturada (k_{sat}), porcentagem de sódio trocável (PST) e fertilidade do solo. Amostras da água de reúso e água destilada lixiviadas foram coletadas para determinar a condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio (RAS), turbidez, pH, sódio, potássio, magnésio, fósforo, cálcio e nitrato. Em casa de vegetação, dois ciclos de alface "Elisa" foram cultivados com dois tratamentos (água de reúso e de abastecimento) com quatro repetições. Após a colheita, amostras de solo foram coletadas para determinar a granulometria, densidade, k_{sat} , fertilidade do solo, coliformes totais, *Escherichia coli* e heterotróficos. Nas alfaces colhidas foram determinados os coliformes totais, *Escherichia coli* e análise química do tecido vegetal. Em laboratório, houve aumento da PST e teor de fósforo e sódio no solo após aplicação das lâminas de irrigação. Não houve diferença significativa nas propriedades físicas do solo, turbidez e RAS. Na casa de vegetação, não houve diferença significativa entre os tratamentos na absorção de nutrientes pelas alfaces cultivadas, porém, a massa das alfaces irrigadas com água de reúso foi 100% maior que a das alfaces irrigadas com água de abastecimento no segundo ciclo. Não foi detectada presença de *Escherichia coli* nas alfaces cultivadas, mas houve concentração de coliformes totais, o que representa risco de contaminação ao consumidor. A irrigação com água de reúso aumentou o teor de nutrientes no solo e a RAS indicou risco de salinização. A água de reúso não causou alterações nas propriedades físicas do solo.

Palavras-chave: Água residuária. Agricultura. Irrigação. Coliformes. Salinização do solo.

ABSTRACT

The concern in developing strategies to solve the water scarcity problem is growing and actual. As a big consumer of the available fresh water, agriculture is the activity with the biggest potential for applying of water reuse. This study set up in CCA/UFSCar evaluated, on laboratory conditions, the physical and chemical properties of a soil irrigated with treated wastewater after the application of a water sheet corresponding to five cycles of lettuce's growth (*Lactuca sativa*, L.) and in a greenhouse, evaluated the sanitary characteristics and mass of the "Elisa" type lettuce and the physical, chemical and microbiological characteristics of the soil after the cultivation with treated wastewater, comes from the wastewater treatment plant from the university. In the laboratory experiment, eighteen undisturbed soil samples were coupled in a constant head permeameter and received a water sheet corresponding to five cycles of lettuce's growth, 0.58, 1.16, 1.74, 2.32 and 2.9 L of water for each cycle. The soil samples were distributed in five groups that received treated wastewater and one control group that received distilled water. Soil samples were collected to analyze the granulometry, saturated hydraulic conductivity (k_{sat}), exchangeable sodium percentage (ESP) and soil fertility. Treated wastewater and distilled water leached samples were collected to analyze the electrical conductivity, sodium adsorption ratio (SAR), turbidity, pH, sodium, potassium, magnesium, phosphorus, calcium and nitrate. In a greenhouse, two cycles of "Elisa" lettuce were cultivated with two treatments (treated wastewater and supply water) with four repetitions. After the harvest of the lettuce, soil samples were collected to analyze granulometry, density, k_{sat} , and soil fertility, total coliforms, *Escherichia coli* and heterotrophic. The harvested lettuces were analyzed for total coliforms, *Escherichia coli* and chemical analysis of plant tissue. In laboratory, there was an increase of ESP and the concentration of phosphorus and sodium on soil after the application of the water sheet. There wasn't significant difference on the physical properties of soil, turbidity and SAR. In a greenhouse, there wasn't significant difference between the treatments on nutrients absorption of lettuces cultivated, but the weight of lettuces irrigated with wastewater was 100% greater than the lettuces irrigated with supply water on the second cycle. It was not detected the presence of *Escherichia coli* on the cultivated lettuces, but there was total coliforms contamination, that presents a risk of contamination to the consumer. The irrigation with treated wastewater increased the nutrients on soil and the SAR indicated a soil salinization risk. The treated wastewater does not cause damage on the physical properties of soil.

Keywords: Wastewater. Agriculture. Irrigation. Coliforms. Soil salinization.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Amostras de solo indeformadas após preparo para início do experimento.....	40
Figura 2 – Cilindros acoplados no permeâmetro para permitir formação de lâmina d'água.	41
Figura 3 – Módulo experimental instalado no laboratório com permeâmetro de carga constante.....	41
Figura 4 - Estação de Tratamento de Esgoto instalada no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos.....	43
Figura 5 - Casa de vegetação após a instalação do sistema de gotejamento e das sondas EnviroSCAN ^{®*} no centro das parcelas.....	44
Figura 6 - Detalhamento do croqui reproduzido na casa de vegetação.....	45
Figura 7 - Anel concêntrico acoplado ao solo para formação de lâmina d'água e saturação do solo.	46
Figura 8 - Temperatura e umidade (interna e externa) na casa de vegetação durante o primeiro ciclo de cultivo.	48
Figura 9 - Temperatura e umidade (interna e externa) na casa de vegetação durante o segundo ciclo de cultivo.	49
Figura 10 - Variação da PST e CTC _e do solo após lixiviação da água destilada e água de reúso.	54
Figura 11 - Parâmetros determinadores da salinidade no solo após lixiviação da água de reúso.	55
Figura 12 - Turbidez da água de reúso e água destilada após lixiviação no solo.....	58
Figura 13 - Condutividade hidráulica saturada do solo após aplicação de lâmina de irrigação correspondente a cinco ciclos de cultivo.....	59
Figura 14 - Alfices cultivadas com água de reúso tratada no primeiro (A) e segundo ciclo (B) aos 38 dias após o transplântio.....	66
Figura 15 - Disposição das parcelas na casa de vegetação aos 36 dias após o transplântio.....	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação e parâmetros para caracterização dos solos afetados por sais quanto ao risco de salinização.	21
Tabela 2 – Fatores interferentes no desenvolvimento e proliferação de organismos patogênicos no solo.	24
Tabela 3 – Efeitos ocasionados por diferentes níveis de salinidade do solo no desenvolvimento das plantas.	29
Tabela 4 – Níveis de rendimento potencial das hortaliças variando de 0 a 100% em relação à condutividade elétrica da água de irrigação (CE_a) e do extrato de saturação do solo (CE_{es}), em $dS\ m^{-1}$ a 25°C.	30
Tabela 5 – Parâmetros e valores máximos/críticos permitidos na caracterização da água de irrigação de hortaliças.	33
Tabela 6 – Grau de restrição de uso da água de irrigação em relação aos problemas que pode ocasionar ao solo.	34
Tabela 7 – Características da água residuária utilizada no experimento em laboratório proveniente da estação de tratamento de esgoto da FEAGRI/UNICAMP.	39
Tabela 8 – Fertirrigação com a concentração de nitrato de cálcio compensada para o tratamento com água de reúso tratada nos dois ciclos cultivados.	47
Tabela 9 – Comparação das médias da água drenada para ambos os tratamentos (água destilada e água de reúso tratada) através do Teste de Tukey a 5% de probabilidade.	52
Tabela 10 – Análise química para fins de fertilidade do solo após aplicação de lâmina de irrigação correspondente a cinco ciclos de cultivo de alface.	53
Tabela 11 – Análise granulométrica do solo após simulação dos cinco ciclos de cultivo de alface e grupo controle.	59
Tabela 12 – Valores médios e desvio padrão dos parâmetros de caracterização da água de irrigação utilizada nos dois ciclos de alface cultivados e porcentagem de sódio trocável no solo.	60

Tabela 13 – Teste de Tukey a 5% para comparação das médias dos padrões microbiológicos da alface produzida e micro-organismos do solo para os dois tratamentos e a interação entre os dois ciclos cultivados.	64
Tabela 14 – Teste de Tukey a 5% para comparação das médias de massa fresca das alfaces produzidas comparando as médias dos tratamentos e da interação entre os ciclos.....	65
Tabela 15 – Teores médios dos macronutrientes das folhas de alface para os dois tratamentos e a interação entre os ciclos cultivados.....	67
Tabela 16 - Teste de Tukey a 5% para comparação das médias dos micronutrientes das folhas de alface para os dois tratamentos e a interação entre os ciclos cultivados.....	68
Tabela 17 – Análise química para fins de fertilidade do solo realizada antes do transplântio e após a colheita nos dois ciclos cultivados.	70
Tabela 18 – Comparação dos valores médios de granulometria do solo após cultivo dos dois ciclos de alface.....	72
Tabela 19 – Comparação de médias para os parâmetros densidade e condutividade hidráulica saturada do solo para os dois ciclos de alface cultivados.....	72

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	14
2. OBJETIVOS.....	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Aplicação de água de reúso tratada na agricultura	17
3.2 Aspectos da aplicação de água de reúso tratada no solo.....	19
3.2.1 Aspectos físicos.....	19
3.2.2 Aspectos químicos.....	19
3.2.3 Aspectos microbiológicos	21
3.3 Legislação pertinente à aplicação de águas residuárias na agricultura.....	24
3.4 - Cultura da alface e qualidade na produção.....	27
3.4.1 Características da alface	27
3.4.2 Contaminação microbiológica e toxicidade no cultivo da alface.....	28
3.5 Qualidade da água de irrigação.....	31
3.6 Métodos de irrigação	36
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	39
4.1 Experimento em laboratório	39
4.1.1 Água de reúso aplicada	39
4.1.2 Montagem do experimento.....	39
4.2 Experimento em casa de vegetação	42
4.2.1 Água de reúso utilizada.....	43
4.2.2 Descrição do experimento.....	44
4.2.3 Amostragem do solo após cultivo da alface com água de reúso.....	49

4.2.4 Amostragem da cultura	50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
5.1 Experimento em laboratório	51
5.1.1 Água de reúso aplicada no solo.....	51
5.1.2 Análise química do solo e da água lixiviada após passagem pelo solo.....	52
5.1.3 Propriedades físicas do solo e da água lixiviada após passagem pelo solo.....	58
5.2 Experimento em casa de vegetação	60
5.2.1 Qualidade da água utilizada na irrigação	60
5.2.2 Características microbiológicas da alface e do solo.....	62
5.2.3 Características da alface produzida	65
5.2.4 Características químicas do solo para fins de fertilidade	69
5.2.5 Características físicas do solo	71
5.3 Resumo dos resultados.....	73
5.3.1 Laboratório	73
5.3.2 Casa de vegetação	73
6. CONCLUSÕES	75
7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS	76
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
APÊNDICES	83

1. INTRODUÇÃO

A preocupação em estudar e viabilizar estratégias e melhorias para a gestão dos recursos hídricos em especial a escassez de água, que é realidade em diversas regiões no mundo, tornou-se preocupação da sociedade atualmente.

A agricultura, como grande consumidora da água doce disponível, é um dos setores que deve priorizar e implementar o reúso da água. Devido ao potencial agrícola que o Brasil possui é necessário reavaliar o manejo de água adotado em suas atividades por meio de investimentos em pesquisas que promovam o uso sustentável da água, bem como o reúso.

O uso de água residuária tratada na agricultura tem sido um importante elemento em estratégias para o uso sustentável dos recursos limitados de água doce devido ao seu potencial econômico e benefícios ambientais (CIRELLI et al., 2012). Em outras palavras, as águas residuárias possuem potencial para fornecer e promover o aporte de nutrientes para as plantas (PEREIRA et al., 2011).

No Brasil, a prática do reúso não é recente, havendo carência de legislações específicas aplicadas às diversas atividades que permitem o reúso de água. Assim, é necessária a utilização de padrões internacionais ou normas atribuídas por instituições privadas, enfatizando a necessidade de mais pesquisas com os resultados voltados para as vantagens, critérios de controle e implantação, e a segurança na irrigação de culturas.

A agricultura é responsável por cerca de 70% do consumo global de água (POSTEL & VICKERS, 2004), além da utilização de altas quantidades de insumos que colaboram para a contaminação dos corpos hídricos.

O reúso na agricultura é apresentado com o propósito de poupar água de boa qualidade para fins nobres e utilizar na irrigação a água residuária, que contém grande quantidade de nutrientes com possibilidade de diminuir os fertilizantes utilizados no cultivo, ou seja, atenuar o fluxo de importação desses produtos, o que possibilita ganho econômico e sustentabilidade do setor agrícola.

A aplicação de água residuária na agricultura através da irrigação de plantas cultivadas tem sido uma das alternativas de baixo custo para a disposição deste resíduo no ambiente (ASANO et al., 1996).

Quando as descargas de poluentes em oceanos, rios e outros corpos d'água são reduzidas, a carga de poluição nesses, diminui. As águas residuárias podem conter índices de nutrientes, como o nitrogênio, mais elevados que da água doce. Aplicações de água residuária na

irrigação para fins agrícolas e jardins podem promover aporte de nutrientes diminuindo a necessidade de fertilizantes (EPA, 2012).

No Brasil, a Resolução 54/2005 (CNRH, 2005), estabeleceu critérios gerais para o reúso de água potável e reúso direto não potável, modalidades e diretrizes deliberando aos Comitês das Bacias Hidrográficas a criação de incentivos e de integração ao Plano Estadual de Recursos Hídricos, o reúso da água, ações de saneamento ambiental e o uso e ocupação do solo.

Com o aumento da demanda por água e a preocupação ambiental, a água de reúso terá maior importância. Trabalhando em conjunto para vencer obstáculos o reúso da água e sua preservação, podem ajudar a conservar e gerenciar de forma sustentável este recurso vital (EPA, 2012).

É necessário investir no aprimoramento tecnológico e otimização dos processos agrícolas para que a substituição de água doce por água de reúso na irrigação seja uma proposta crescente e viável, constituindo um sistema alternativo de tratamento que apresenta benefícios ambientais e econômicos.

Frente à necessidade de fontes alternativas de água com qualidade compatível ao uso em meio agrícola, o desenvolvimento desta pesquisa visa fornecer conhecimento científico das variáveis que implicam na viabilidade do reúso de água promovendo o manejo sustentável e melhoria na qualidade da água disponível nos corpos d'água.

2. OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho foram avaliar, em laboratório, as propriedades físicas e químicas do solo irrigado com água de reúso tratada após aplicação de lâmina de irrigação correspondente ao cultivo de cinco ciclos de alface (*Lactuca sativa*, L.) e, em casa de vegetação, as características sanitárias e a massa da cultura de alface “Elisa” e as características físicas, químicas e microbiológicas do solo após o cultivo com água de reúso tratada.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Aplicação de água de reúso tratada na agricultura

O aproveitamento das águas de reúso na agricultura consiste em alternativa de controle das fontes poluidoras nos corpos d'água, além da reciclagem dos nutrientes e aumento da produção agrícola (MEHNERT, 2003). Além disso, é a solução potencial para reduzir a demanda por água doce e a carga de poluição em corpos receptores (SINGH et al., 2012).

Águas residuais ou residuárias são aquelas descartadas que resultam da utilização por diversos processos descritos por Almeida (2010), como: 1) Águas residuais domésticas: provenientes de banhos; de cozinhas; de lavagens de pavimentos domésticos; 2) Águas residuais industriais: resultantes de processos de fabricação; 3) Águas de infiltração: infiltração nos coletores de água existente nos terrenos; e 4) Águas urbanas: chuvas, lavagem de pavimentos e rega.

O uso não regulamentado desta prática pode acarretar mudanças nos atributos físicos e químicos do solo (VARALLO et al., 2012). Segundo Cameron et al. (1997), ainda não existe uma certeza se o solo é o local mais adequado para o despejo de águas residuárias, embora esta alternativa tenha sido bastante aceita e relativamente estudada por vários autores no decorrer dos anos (HESPANHOL & PROST, 1994; MEHNERT, 2003; SANDRI et al., 2006; VARALLO et al., 2010; SINGH et al., 2012).

O uso de águas residuárias não é um conceito novo e tem sido praticado e estudado em vários países como Brasil, Itália, Índia, Espanha e Estados Unidos (JAVAREZ Jr et al., 2010; PEREIRA et al., 2011; CIRELLI et al., 2012; PEDRERO et al., 2012; SINGH et al., 2012). Existem relatos de sua prática na Grécia Antiga, com a disposição de esgotos e sua utilização na irrigação. No entanto, a demanda crescente por água tem feito do reúso planejado da água um tema atual e de grande importância (ALMEIDA, 2010).

Além da necessidade de haver envolvimento da população para a tomada de decisão quanto à regularização do reúso de água no Brasil, esse assunto envolve diversas esferas do poder público. Hespagnol (2002) afirma que há necessidade de envolvimento desde o planejamento até a execução do projeto dos Ministérios da Agricultura, Recursos Hídricos, Fazenda e Planejamento, Saúde, Obras Públicas e Companhias de Água e Saneamento.

Um dos entraves para a legalização do reúso agrícola é a dificuldade em encontrar água residuária com a qualidade que a agricultura requer, bem como os custos para tratar o efluente e o reconhecimento de que o reúso possibilita menor demanda por insumos agrícolas.

A água residuária é um potencial fornecedor de macro e micronutrientes para as plantas e poderia ser usada na irrigação de determinadas culturas alimentares, árvores e plantas promovendo o aumento da produção agrícola em solos de baixa fertilidade, com reduzido teor de matéria orgânica, fósforo e nitrogênio (MEHNERT, 2003; SINGH et al., 2012).

A fertilidade do solo consiste na capacidade de fornecer água e nutrientes para o desenvolvimento adequado das plantas, o qual é influenciado pelas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo. De forma simplificada, a fertilidade do solo é avaliada por um conjunto de propriedades químicas: pH (acidez ativa), matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio + hidrogênio (acidez potencial), capacidade de troca catiônica, saturação por bases, entre outros (REICHARDT & TIMM, 2004).

Diversos estudos analisaram os potenciais efeitos da aplicação de águas residuárias no solo, padrões microbiológicos, químicos e físicos para promover padrões de seguridade para implantação da técnica sem causar danos ao ambiente (MEDEIROS et al., 2005; SANDRI et al., 2006; RIBAS & FORTES NETO, 2008; QADIR et al., 2010).

A concentração de nutrientes contidos na água de reúso proporciona enriquecimento das propriedades agrônômicas do solo e aumento na produtividade das culturas (HESPANHOL, 2003; MEDEIROS et al., 2005; DEON et al., 2010; VARALLO et al., 2010). O aumento de nutrientes no solo, por sua vez, pode ocasionar a salinização do solo e prejudicar culturas menos tolerantes. Além disso, Bonini et al. (2011) alertaram sobre a presença de agentes tóxicos, micro-organismos e substâncias inorgânicas.

Outro fator significativo a ser considerado é o excesso de sais na água de reúso, que provoca diminuição de absorção de água pela planta e degrada as características físicas do solo (VARALLO et al., 2010).

Quando a água de reúso é aplicada no solo por um longo período deve-se monitorar o balanço de sódio no solo e também do pH, que são geralmente altos, restringindo a solubilidade de micronutrientes metálicos como o cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn) e zinco (Zn). Também é necessário verificar a contaminação do lençol freático por nutrientes, especialmente os facilmente lixiviáveis, como o nitrogênio nitrato (NO_3^- - N) (SANDRI et al., 2006; CARNEIRO et al., 2011).

O potencial impacto sobre o lençol de água subterrâneo devido à aplicação de efluentes no solo é pouco conhecido. Por esse motivo, a irrigação com água de reúso não deve ser feita de forma indiscriminada, sem nenhum controle (MEHNERT, 2003).

Nesse contexto, critérios para a aplicação da água de reúso no solo são necessários, devido às alterações físicas, químicas e biológicas a que o solo fica exposto e que podem provocar desbalanceamento na disposição de nutrientes no solo e devido aos parâmetros sanitários que podem comprometer a qualidade da cultura irrigada.

3.2 Aspectos da aplicação de água de reúso tratada no solo

3.2.1 Aspectos físicos

A aplicação de água salina no solo, sem o cuidado para que haja a lixiviação dos sais presentes, pode proporcionar problemas na permeabilidade do solo, dispersando a fração argila e diminuindo a taxa de infiltração, o que pode impedir o desenvolvimento radicular da planta (VARALLO et al., 2012).

A condutividade hidráulica saturada do solo (k_{sat}) caracteriza os meios porosos do solo em permeáveis (baixa resistência à passagem de água), semipermeáveis (média resistência) e pouco permeáveis (alta resistência hidráulica) (MANTOVANI et al., 2009). Este parâmetro representa a velocidade com que um líquido atravessa o meio poroso do solo e a redução deste, pode prejudicar a infiltração de água, disponibilidade de nutrientes no solo e às raízes das plantas, já que compromete o fluxo da solução no solo (BONINI et al., 2011).

A infiltração de água no solo pode também ser prejudicada pela sodicidade do solo. Sodificação do solo é a elevada proporção da concentração de sódio em relação à de outros cátions (principalmente cálcio e magnésio) acarretando problemas na estruturação do solo, dificultando o processo de infiltração da água devido à obstrução ou extinção dos poros (MANTOVANI et al., 2009), limitando o crescimento das plantas.

Em solos sódicos, onde o teor de Na é alto, o excesso de sódio provoca a dispersão da argila e, quando o teor é muito alto, pode ocorrer também a dispersão da matéria orgânica (MEURER, 2010).

3.2.2 Aspectos químicos

A irrigação com água de reúso deve ser efetuada com esgoto de origem predominantemente doméstica, uma vez que a aplicação de água residuária por longos períodos pode levar à acumulação de compostos tóxicos orgânicos e inorgânicos no solo e ao aumento da salinidade (HESPANHOL, 2002).

A água de irrigação, alguns fertilizantes de alto índice salino, a evaporação da água de superfície e a má drenagem de alguns solos e substratos são em parte responsáveis pelo aumento da salinização (TRANI et al., 2011).

Os íons mais comuns em solos afetados por sais são os cátions Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , e os ânions Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , CO_3^{2-} e NO_3^- , formando cloretos, sulfatos, nitratos, carbonatos e bicarbonatos, que são bastante solúveis (MEURER, 2010).

A condutividade elétrica da água de irrigação (CE_{ai}) considera a quantidade total de sais presentes na água, sem especificá-los (ALMEIDA, 2010), e é utilizada para determinar a potencialidade de salinizar o solo.

Os principais parâmetros utilizados para caracterizar os solos afetados por sais são a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}), o pH e o teor de sódio trocável, que pode ser determinado na água de irrigação através da razão de adsorção de sódio (RAS) e no solo pela PST.

A determinação da sodicidade do solo é estimada pela seguinte fórmula (ALMEIDA, 2010):

$$PST = \frac{Na}{CTC_g} \times 100 \quad (1)$$

Sendo:

PST - Porcentagem de Sódio Trocável (%)

Na – Teor de sódio trocável ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)

CTC - Capacidade de Troca Catiônica ($\text{mmol}_c \text{ dm}^{-3}$)

Os solos podem ser classificados como salinos (alta concentração de sais solúveis), sódicos (alta concentração de sódio trocável) e salino-sódicos (alta concentração de sais e de sódio trocável) (Tabela 1). Meurer (2010), afirma que solos com alta concentração de sais podem interferir no rendimento das culturas, pois quando a concentração de sais no solo é alta, o movimento da água do solo para as raízes diminui e quando a concentração de sais é mais alta no solo que no interior das raízes, o movimento é invertido, podendo causar dessecação das plantas e até a morte.

Tabela 1 – Classificação e parâmetros para caracterização dos solos afetados por sais quanto ao risco de salinização.

Classificação do solo	CE (dS m ⁻¹)	pH	RAS	PST (%)
Salino	≥ 4,0	<8,5	< 13	< 15
Sódico	< 4,0	≥ 8,5	≥ 13	≥ 15
Salino-sódico	≥ 4,0	≥ 8,5	≥ 13	≥ 15

Legenda: CE – condutividade elétrica; pH – potencial hidrogeniônico; RAS – razão de adsorção de sódio; PST – porcentagem de sódio trocável

Fonte: Meurer (2010)

Os sais são adicionados ao solo junto à água de irrigação, aumentando a concentração de sais na zona radicular à medida que as plantas consomem a água por evapotranspiração. A cada irrigação, acrescentam-se mais sais e para evitar sua acumulação excessiva na zona radicular. Uma parte deve ser eliminada por lixiviação com determinada quantidade de água (ALMEIDA, 2010) e outra parte é absorvida pelas plantas.

A evapotranspiração faz com que a quantidade de sais na solução do solo aumente à medida que a água seca. Por isso, uma água que inicialmente possuía concentração salina aceitável, pode alcançar valores elevados. Além disso, alguns sais podem alcançar seu limite de solubilidade e precipitar, retirando da solução do solo determinados cátions, alterando as proporções iniciais. Isto costuma ocorrer com alguns sais de cálcio de baixa solubilidade (CaCO₃ e CaSO₄) podendo promover um aumento da proporção de sódio na água do solo e da PST do mesmo (ALMEIDA, 2010).

A aplicação de águas residuárias no solo traz consigo a preocupação com os parâmetros físicos e químicos que podem afetar drasticamente a qualidade do solo utilizado e o desenvolvimento da cultura, enquanto a qualidade sanitária da cultura pode ser prejudicada pela presença de micro-organismos nesta água.

3.2.3 Aspectos microbiológicos

A presença de micro-organismos presentes na água de reúso tratada usada na irrigação de culturas está diretamente relacionada à saúde da população que irá consumir o produto. O risco de contaminação por micro-organismos patogênicos é maximizado na irrigação que utiliza a aspersão, a qual propicia contato direto com a planta a ser consumida (PAGANINI, 2003).

Dentre os riscos que a irrigação com água de reúso proporciona pode-se citar a contaminação da vegetação de cobertura, do solo, do lençol freático e dos corpos d'água. Os

riscos à saúde pública estão relacionados à contaminação dos trabalhadores rurais, dos consumidores de produtos vegetais e de produtos animais, os quais tenham pastoreado em terrenos irrigados com água de reúso tratada e de pessoas que residem próximo as estações de tratamento de esgotos ou a áreas agricultáveis (CAVINATTO & PAGANINI, 2007).

Cabe lembrar que resíduos fecais de animais também podem conter patógenos e normalmente não passam por qualquer tratamento, sendo usados na agricultura sem restrições ou questionamentos por parte da população e autoridades (CHAGAS, 2000).

O risco quanto à contaminação por patógenos presentes na água de reúso deve ser considerado por meio de duas perspectivas: o risco real de contaminação e o risco potencial. Identificar a presença de micro-organismos na água não significa que os mesmos são patógenos e oferecem riscos à saúde da população, mesmo porque a detecção de micro-organismos na água não é incomum e inclui bactérias, fungos, protozoários, vírus e algas, entre outros.

Os riscos potenciais de contaminação referem-se à presença de um agente patogênico no solo ou na cultura. Os riscos reais são baseados em evidências epidemiológicas que demonstram aumento na incidência de doenças em populações expostas ao reúso ou agravo à saúde (CAVINATTO & PAGANINI, 2007).

Os protozoários, helmintos e algumas bactérias são relativamente grandes em relação aos vírus e outras bactérias, o que faz com que os primeiros fiquem retidos na primeira camada do solo por sedimentação, filtração e até por adsorção. Essa retenção indica que o risco desses micro-organismos alcançarem profundidades maiores ou até mesmo os lençóis subterrâneos, não seja representativo (PAGANINI, 2003).

Uma classificação de risco à saúde associada à possível presença de micro-organismos patogênicos no solo após a aplicação de água de reúso tratada é proposta por Chagas (2000):

- ✓ Alto risco: Helmintos (*Ascaris lumbricoides*, *Trichuris trichiura*, *Necator Americanos* e *Ancylostoma duodenalis*);
- ✓ Médio risco: Bactérias (*Vibrio cholerae*, *Salmonella typhi*, e *Shigella sp.*) e protozoários (*Entamoeba hystolitica* e *Giardia lamblia*);
- ✓ Baixo risco: Vírus entéricos e vírus da hepatite.

Em geral, os coliformes termotolerantes sobrevivem por dez semanas no solo, com redução de 90% entre duas a três semanas, mas pode sobreviver por aproximadamente 175 dias sob condições de umidade e baixa temperatura. Em elevada temperatura e solo bem drenado, a eliminação completa destes ocorre em duas semanas. Porém, a *Escherichia coli* possui

sobrevivência de aproximadamente quatro meses na água, esgoto, solo e plantas (PAGANINI, 2003).

O período de sobrevivência dos organismos patogênicos no solo depende de fatores favoráveis ao seu desenvolvimento, como grande quantidade de nutrientes disponíveis, diminuindo a competição (Tabela 2).

A partir da identificação desses fatores, se torna mais fácil o desenvolvimento de um manejo do solo voltado à seguridade da cultura quanto à proliferação de patógenos. Paganini (2003) afirma que não existem evidências de contaminação por micro-organismos no interior das plantas através do sistema radicular como porta de entrada, independentemente da cultura, frutíferas, legumes, verduras, forragens, grãos ou outras.

Em estudo do solo após aplicação de efluente de origem doméstica, Cavinatto & Paganini (2007) observaram que o número de organismos presentes na superfície do solo foi sempre superior que a 30 cm de profundidade. Provavelmente certo grau de umidade e a vegetação de cobertura ofereceram condições favoráveis aos organismos.

Ainda segundo Cavinatto & Paganini (2007) foi possível concluir que o lençol freático estaria protegido da contaminação por helmintos devido à sua proliferação ocorrer na superfície. A presença de *Salmonella* sp. foi detectada em pontos com teor de umidade variando entre 15,5% e 72,6%, ou seja, baixos teores de umidade não foram limitantes, apontando necessidade de monitoramento da qualidade microbiológica do efluente e do corpo receptor quanto à capacidade de sobrevivência apresentada.

Muito embora o conhecimento da tolerância dos micro-organismos às condições ambientais por si só não permita a caracterização de um risco real de transmissão de doenças, a observância destes valores não deixa de ser uma valiosa ferramenta na avaliação dos riscos potenciais de infecção (CHAGAS, 2000).

Dentre as principais doenças a que o ser humano fica exposto frente à presença de patógenos destacam-se a diarreia, hepatite infecciosa, poliomielite, febre tifóide e febre paratifóide, intoxicação por alimentos contaminados, ancilostomíase e infecções generalizadas.

Tabela 2 – Fatores interferentes no desenvolvimento e proliferação de organismos patogênicos no solo.

Fatores	Efeitos
Grau de umidade	Sobrevivência por mais tempo em solos úmidos e durante períodos de precipitação pluvial prolongada.
Temperatura	Sobrevivência por mais tempo a temperaturas mais baixas.
pH	O período de sobrevivência é mais reduzido em solos ácidos (pH 3 a 5) do que em solos alcalinos (bactérias). A sobrevivência dos vírus é prolongada com valores de pH próximos do neutro.
Adsorção	A sobrevivência dos vírus é ampliada com o aumento da taxa de adsorção destes ao solo.
Matéria orgânica	Maior período de sobrevivência das bactérias e a possibilidade de reprodução em presença de quantidades suficientes de matéria orgânica podem proteger os vírus de tornar-se inativos.
Antagonismo da microflora	Maior período de sobrevivência em solo estéril; a microflora do solo compete com as bactérias por nutrientes; micro-organismos aeróbios do solo afetam adversamente a sobrevivência dos vírus, enquanto os micro-organismos anaeróbios não a afetam.
Tipo de vírus	Diferentes tipos de vírus têm sensibilidades variadas a fatores antagonísticos físicos, químicos e biológicos.
Atividade microbiológica	A presença ou não de certos micro-organismos tem influência na redução dos vírus e das bactérias.
Espécie e concentração de sais	Alguns vírus podem ter o período de sobrevivência prolongado pela presença de certos cátions.
Agregação de vírus	Aumenta o período de sobrevivência dos vírus.

Fonte: Beavers & Gardner (1992), citado por Paganini (2003).

3.3 Legislação pertinente à aplicação de águas residuárias na agricultura

As diretrizes para o uso seguro de esgotos são baseadas em pesquisas científicas e estudos epidemiológicos, proporcionando informação básica e orientação para a tomada de decisões que envolvem riscos à saúde pública e ao meio ambiente (HESPANHOL, 2002), ressaltando a importância dos estudos científicos para fornecer embasamento a partir de experimentos reais, sem suposições, aumentando assim a confiabilidade nas informações.

No Brasil, a prática do uso de água sem tratamento principalmente para a irrigação de hortaliças e algumas culturas forrageiras, conforme Almeida (2010) alerta, o usuário aplica

água de córregos e rios para irrigação ignorando que esteja exercendo prática danosa à saúde da população e provocando impactos ambientais negativos.

A lei nº 9.433 estabelece, entre os objetivos da Política Nacional de Recursos Hídricos, assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos (BRASIL, 1997). O reúso de água pode estar implícito na proposta de padrões de qualidade da água adequados aos respectivos usos.

A Agência Nacional de Águas (ANA) criou o Projeto Reúso em parceria com entidades do Estado da Paraíba com os objetivos de: 1) Demonstrar a viabilidade técnica e econômica do tratamento de esgoto municipal e seu reúso como água de utilidades na indústria ou como água de irrigação na agricultura; 2) Fornecer subsídios para a regulamentação do uso de águas residuárias no País; e 3) Apoiar o desenvolvimento de pesquisas em sistemas-piloto na cidade de Campina Grande (ANA, 2012).

Essa iniciativa da ANA é bastante pertinente e elucida os primeiros passos para a normatização do reúso de água, uma vez que a pesquisa provém de uma agência reguladora do país.

Há necessidade de desenvolvimento de cultura e política de conservação de água em todos os setores da sociedade, destaca Hespanhol (2003), uma vez que o reúso consciente e planejado de água não potável, como águas de drenagem agrícola, águas salobras e principalmente esgotos domésticos e industriais, constitui o mais moderno e eficaz instrumento de gestão, para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos no Brasil.

Na legislação vigente no país é possível encontrar alguns parâmetros considerados norteadores para o desenvolvimento de projetos de reúso de água em ambiente agrícola. Apesar de não se constituir em meio específico para basear os resultados obtidos, auxilia a identificar se a qualidade do efluente quando comparado à qualidade da água de irrigação está compatível, dentro do esperado ou a melhoria dos tratamentos é necessária.

A Resolução RDC nº 12 regulamenta os padrões microbiológicos sanitários para alimentos destinados ao consumo humano e é utilizada na interpretação dos dados obtidos em estudos onde a água de reúso é utilizada na irrigação de culturas alimentares. Para culturas frescas “in natura”, inteiras, selecionadas ou não, há indicação de que não poderá ultrapassar para *Salmonella sp.* 25g e até 10² coliformes a 45°C g⁻¹ (ANVISA, 2001).

O Conselho Nacional de Recursos Hídricos, através da Resolução nº 54, estabeleceu modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, definindo como as águas residuárias como esgoto, água descartada, efluentes líquidos de

edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não, sendo o reúso de água a utilização de água residuária, e a água de reúso, uma água residuária que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas.

Nesta resolução, o reúso direto não potável destina-se para fins urbanos, agrícolas e florestais, ambientais, industriais e na aquicultura, porém os parâmetros e recomendações que devem ser seguidos não são apresentados nesta legislação, apenas são delegadas as responsabilidades aos órgãos gestores da água no país.

Assim sendo, os órgãos do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos ficam responsáveis em avaliar os efeitos do reúso nos corpos hídricos e estabelecer medidas de incentivo à modalidade. Os comitês de bacia hidrográfica deverão considerar a criação de incentivos para a prática de reúso e integrar, no âmbito do Plano de Recursos Hídricos da Bacia, a prática de reúso com as ações de saneamento ambiental e de uso e ocupação do solo.

Entende-se então que uma iniciativa dos comitês de bacia deve ocorrer quanto à implantação do reúso de água, o que ainda não vem acontecendo de forma difundida, embora já existam projetos em andamento principalmente em empresas privadas.

Para uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário, as disposições legais foram difundidas através da Resolução nº 375 elaborada pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2006). Estipula-se como um dos critérios para o cálculo de aplicação do lodo, a concentração de nitrogênio que a cultura necessita e a que o lodo possui.

Nessa resolução para justificar a aplicação de lodo em ambiente agrícola ele deve apresentar potencial agronômico, o qual pode ser determinado pelos parâmetros: carbono orgânico, fósforo total, nitrogênio Kjeldahl, nitrogênio amoniacal, nitrogênio nitrato/nitrito, pH em água, potássio total, sódio total, enxofre total, cálcio total, magnésio total, umidade e sólidos voláteis e totais. Desta forma fica vetado o uso de águas residuárias de estações de tratamento hospitalares, portos e aeroportos, e outros resíduos que ofereçam riscos à saúde (CONAMA, 2006).

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) disponibiliza a Norma Técnica P4.230 como um manual técnico para a aplicação de lodos de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas (CETESB, 1999). Nesta norma estão detalhados todos os procedimentos e cuidados que devem ser levados em consideração para proceder com uma disposição segura do lodo no solo, inclusive sua caracterização.

Assim, como já destacado por diversos autores (CHAGAS, 2000; MEHNERT, 2003; ALMEIDA, 2010; TRANI et al., 2011; SINGH et al., 2012), as características que devem ser monitoradas com maior cuidado ao aplicar a água de reúso ou lodo no solo são os parâmetros de fertilidade do solo, sódio trocável, condutividade elétrica e substâncias inorgânicas.

Apesar de não haver normatização específica que possa dispor de parâmetros norteadores e reguladores aos produtores e autores de trabalhos científicos, a CETESB publicou a Decisão de Diretoria nº 388, a qual aprova premissas e diretrizes para a aplicação de resíduos e efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo (CETESB, 2010).

Esse documento da CETESB preconiza que a aplicação de efluentes líquidos em solo agrícola obedeça às normas utilizadas pela mesma, e que na ausência destas, a aplicação seja precedida de avaliação em função da tipologia ou do resíduo/efluente, para subsidiar a futura elaboração de norma específica que necessita aprovação da Diretoria Plena da companhia.

Destaca-se que os efluentes das indústrias alimentícias, de bebidas e do setor sucroalcooleiro não tratados, não podem ser aplicados em solo agrícola quando misturados com outros efluentes, mesmo que domésticos. Não serão permitidas aplicações de efluentes em áreas que apresentem substâncias em concentrações superiores aos valores de prevenção para solos e águas subterrâneas (CETESB, 2010).

Para o emprego efetivo de sistemas de reúso de água, é essencial que valores orientadores sejam criados para as diversas atividades que permitem a aplicação do reúso. No caso do reúso agrícola por exemplo, a determinação de parâmetros de segurança para os variados tipos de solo, tipos de culturas, métodos de irrigação e qualidade microbiológica do solo e dos alimentos devem ser estabelecidos.

3.4 - Cultura da alface e qualidade na produção

3.4.1 Características da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil, sendo o componente básico de saladas. Representa quase 50% de todas as folhosas que são comercializadas e, dentre essas, a crespa corresponde a quase 40% do total. As cultivares de alface disponíveis no mercado brasileiro indicadas para cultivo em regiões quentes são: a repolhuda lisa, repolhuda crespa ou americana, solta lisa e crespa solta (MORETTI & MATTOS, 2006; HENZ & SUINAGA, 2009).

Pertencente à família *Asteracea*, a alface é uma planta anual, originária de clima temperado. Possui caule curto e não ramificado e raízes do tipo pivotante, alcançando os

primeiros 25 cm do solo. Praticamente todas as cultivares de alface desenvolvem-se bem em climas amenos, principalmente no período de crescimento vegetativo. A ocorrência de temperaturas mais elevadas acelera o ciclo de cultivo e pode resultar em plantas menores porque o pendoamento ocorre mais precocemente (BLANCO et al., 1997; HENZ & SUINAGA, 2009).

No plantio, recomenda-se espaçamento de 0,20 a 0,30 m entre plantas. A adubação orgânica e mineral deve ser incorporada ao solo 10 dias antes da semeadura ou transplantio. Em mudas transplantadas deve-se aplicar nitrogênio aos 10, 20 e 30 dias após o transplantio. Para semeadura direta aplica-se N aos 15, 30 e 45 dias após a germinação (RAIJ et al., 1997).

3.4.2 Contaminação microbiológica e toxicidade no cultivo da alface

A contaminação microbiológica em hortaliças é geralmente devido ao uso de água de má qualidade na irrigação, enquanto a contaminação química é, em sua maioria, proveniente da aplicação de defensivos agrícolas (MATTOS et al., 2009) e, em menor proporção, da água utilizada na irrigação.

Alta concentração total de sais causa a salinização do solo, através do aumento do potencial osmótico e da redução do potencial hídrico, dificultando a absorção de água pela planta. Altas concentrações de sais na água de irrigação (e na solução do solo) podem causar toxidez às plantas (MANTOVANI et al., 2009).

É imprescindível compreender que a salinidade é um problema externo à planta e que dificulta a absorção da água, enquanto a toxicidade é um problema interno, que se produz por determinados íons, absorvidos pelas raízes, que se acumulam nas folhas mediante a transpiração, chegando a alcançar concentrações nocivas (ALMEIDA, 2010).

A cultura de alface está enquadrada, segundo Ayers & Westcot (1999), entre as hortaliças moderadamente sensíveis em relação à tolerância a salinidade, ao lado da abóbora (*Cucurbita pepo*), berinjela (*Solanum melongena esculentum*), couve (*Brassica oleracea acephala*) e pimentão (*Capsicum annuum*).

Os aspectos fundamentais a considerar no uso da água de irrigação são aqueles que afetam principalmente o solo, o rendimento e qualidade das colheitas e o sistema de irrigação. Para a qualidade da água, devem ser levados em conta os critérios de salinidade, sodicidade, toxicidade e outros (ALMEIDA, 2010).

A partir da determinação da condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (CE_{es}) é possível estimar em que estágio de desenvolvimento da cultura a quantidade de sais presente na água de irrigação causa danos mais severos (Tabela 3).

Tabela 3 – Efeitos ocasionados por diferentes níveis de salinidade do solo no desenvolvimento das plantas.

Condutividade Elétrica ($dS\ cm^{-1}$)	Interpretação
< 0,24	Baixa
0,25 - 0,75	Adequada para mudas pequenas e plantas sensíveis à salinidade
0,76 - 1,75	Adequada para plantas já estabelecidas ou adultas. Faixas superiores podem reduzir o crescimento de espécies e variedades mais sensíveis.
1,76 - 2,25	Elevada, os limites superiores podem resultar em “queimas” de bordos das folhas. Nesses níveis não se recomenda deixar secar o substrato.
> 2,25	Alto potencial de queima das folhas, com danos ao sistema radicular e paralisação do crescimento. Possíveis sintomas de murcha das plantas.

Fonte: Taqueira (2000), citado por Trani et al. (2011)

A alface atinge 100% de seu rendimento potencial quando a condutividade elétrica da água de irrigação é de até $0,9\ dS\ m^{-1}$, e a condutividade elétrica do extrato de saturação do solo deve ser de no máximo $1,3\ dS\ m^{-1}$ (Tabela 4).

Conhecer o rendimento potencial da cultura de trabalho é imprescindível para não perder a produção e garantir que a alface tenha qualidade, tanto nutricional quanto visual, evitando o aparecimento de folhas amareladas de aspecto não saudável que frequentemente são deixadas de lado pelo consumidor.

Quando comparada às demais hortaliças, a alface não possui grande tolerância à salinidade. A abobrinha tem 50% da produção comprometida quando irrigada com água que apresenta salinidade de até $6,7\ dS\ m^{-1}$. Para a alface, a mesma perda no rendimento ocorre quando a água apresenta metade do valor, $3,4\ dS\ m^{-1}$ (Tabela 4).

Tabela 4 – Níveis de rendimento potencial das hortaliças variando de 0 a 100% em relação à condutividade elétrica da água de irrigação (CE_a) e do extrato de saturação do solo (CE_{es}), em $dS\ m^{-1}$ a $25^\circ C$.

Culturas	Rendimento Potencial									
	100%		90%		75%		50%		0%	
	CE_{es}	CE_a	CE_{es}	CE_a	CE_{es}	CE_a	CE_{es}	CE_a	CE_{es}	CE_a
Abobrinha italiana	4,7	3,1	5,8	3,8	7,4	4,9	10,0	6,7	15,0	10,0
Brócolis	2,8	1,9	3,9	2,6	5,5	3,7	8,2	5,5	14,0	9,1
Espinafre	2,0	1,3	3,3	2,2	5,3	3,5	8,6	5,7	15,0	10,0
Batata	1,7	1,1	2,5	1,7	3,8	2,5	5,9	3,9	10,0	6,7
Pimentão	1,5	1,0	2,2	1,5	3,3	2,2	5,1	3,4	8,6	5,8
Alface	1,3	0,9	2,1	1,4	3,2	2,1	5,1	3,4	9,0	6,0
Cenoura	1,0	0,7	1,7	1,1	2,8	1,9	4,6	3,0	8,1	5,4
Nabo	0,9	0,6	2,0	1,3	3,7	2,5	6,5	4,3	12,0	8,0

Fonte: Ayers & Westcot (1999)

A produção de frutas e hortaliças envolve uma série de etapas, desde a escolha do material propagativo até a comercialização do produto final, para consumo “in natura” ou processado. Em cada etapa do ciclo produtivo existe a possibilidade de contaminação química, física e microbiológica que pode potencialmente fazer mal à saúde do consumidor (MATTOS et al., 2009).

A alface possui um curto tempo de prateleira, por isso normalmente as zonas produtoras concentram-se perto de áreas metropolitanas, os chamados “cinturões-verdes” (HENZ & SUINAGA, 2009), onde a qualidade da água é geralmente comprometida pelo frequente recebimento dos despejos urbanos.

Em experimento comparativo de amostras de alface comercializadas e as produzidas com água de reúso, Varallo et al. (2011) determinaram a presença ou ausência de coliformes para demonstrar a seguridade da produção de alface com águas residuárias. Nas amostras comercializadas todas indicaram a presença de coliformes totais e 30% dessas amostras indicaram presença de coliformes termotolerantes. Por outro lado, nas plantas produzidas com água de reúso não houve contaminação por coliformes termotolerantes e apenas duas amostras indicaram coliformes totais.

São chamadas coliformes totais as enterobactérias capazes de fermentar a lactose com produção de gás em 24 a 48 horas a $35^\circ C$ e as bactérias originárias do trato gastrointestinal de humanos e outros animais de sangue quente (*Escherichia coli*), como também bactérias não entéricas (*Citrobacter*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Serratia*) (SILVA et al., 2007).

Ainda segundo Silva et al. (2007), os coliformes termotolerantes, são um subgrupo dos coliformes totais, restrito aos membros capazes de fermentar a lactose em 24 horas a 44,5 a 45,5°C com produção de gás. Esse grupo também inclui membros de origem não fecal (*Klebsiella pneumoniae*, *Enterobacter agglomerans*, *Enterobacter aerogenes*, *Enterobacter cloacae* e *Citrobacter freundii*). Em função disso, o termo coliformes fecais tem sido gradativamente substituído por coliformes termotolerantes.

Como alternativa para garantir segurança nas plantas produzidas com água de reúso, a técnica de processamento mínimo da alface crespa (MORETTI & MATTOS, 2006) poderia ser uma opção, uma vez que as folhas são selecionadas criteriosamente e passam por um processo de desinfecção antes de serem embaladas e destinadas ao comércio.

A proposta de poupar os recursos hídricos que o reúso de água representa, torna a técnica de processamento mínimo inviável. Estima-se que entre as etapas de pré-lavagem, enxágue e sanitização sejam gastos entre 5 e 10 litros de água por quilo de alface processada (MORETTI & MATTOS, 2006), necessitando otimizar as etapas do processo em relação à demanda de água necessária.

Neste contexto, são bem vindos na produção de hortaliças os planos de ações de segurança dos alimentos que devem ser adotados pelos produtores, nas etapas de cultivo, colheita, embalagem e transporte, com a finalidade de aumentar a qualidade sanitária do produto comercializado (MATTOS et al., 2009). Para pequenos produtores, os custos de implantação/adequação ainda podem ser um obstáculo, necessitando de incentivos e financiamentos. Porém, o retorno do investimento é permanente e valoriza a produção.

3.5 Qualidade da água de irrigação

Os sais adicionados ao solo através da aplicação da água de reúso podem reduzir a disponibilidade de água para a cultura, prejudicando seu desenvolvimento. Como todos os solos contêm misturas de sais solúveis que são essenciais para o desenvolvimento da cultura, o excesso, por sua vez, deve ser controlado (VARALLO et al., 2012).

A aplicação de água salina/sódica resulta na redução do crescimento das culturas e deterioração das propriedades físico-químicas do solo (SINGH et al., 2012), além de danos ao sistema de irrigação atingir níveis críticos e necessitar de trocas periódicas.

O uso de águas residuais nos sistemas de irrigação localizada é complexo devido aos nutrientes, substâncias orgânicas e micro-organismos presentes na água. O tratamento químico com cloro é um dos métodos mais eficazes para controlar o desenvolvimento de

micro-organismos, porém nem sempre é justificado economicamente e requer um manejo cuidadoso. O cloro mata os micro-organismos e oxida a matéria orgânica, os quais devem ser filtrados antes da entrada no sistema de irrigação (ALMEIDA, 2010).

De maneira geral, não se observa a preocupação dos produtores de hortaliças quanto às características da água de irrigação, a não ser quando há ocorrência de problemas como queima das plantas, entupimento dos gotejadores ou microaspersores (TRANI et al., 2011).

Como indicativo de salinidade do solo, Ayers & Westcot (1999) sugerem que seja analisada a CE da água de irrigação (CE_a) e o total de sólidos solúveis. Quanto à capacidade de infiltração do solo, devem ser consideradas conjuntamente a CE_a e a razão de adsorção de sódio (RAS), enquanto para a toxicidade de íons específicos que podem afetar as culturas deve-se analisar o sódio (Na), cloreto (Cl), boro (B), nitrogênio ($NO_3^- - N$), bicarbonato (HCO_3) e pH.

A fertirrigação é o melhor e mais eficiente método de adubação das culturas via irrigação, pois viabiliza a aplicação de acordo com a absorção de nutrientes. Por isso, estabelecer valores adequados de nutrientes para a água de irrigação é fundamental (Tabela 5).

Os valores máximos indicados na Tabela 5 referem-se aos níveis críticos, acima dos quais o desenvolvimento das hortaliças pode sofrer danos ou ocorrer formação de resíduos causando problemas nos sistemas de irrigação, ou ainda reações químicas, comprometendo a disponibilidade de elementos minerais, entre outras consequências.

Tabela 5 – Parâmetros e valores máximos/críticos permitidos na caracterização da água de irrigação de hortaliças.

Parâmetros*	Valores máximos	Parâmetros*	Valores máximos
pH	7,0 - 7,5	Si	5 - 10
CE (dS m ⁻¹)	0,5 - 1,2	Pb	0,1
RAS	3 - 6	Co	0,05 - 0,10
Bicarbonatos	60 - 120	Ni	0,2 - 0,5
Sólidos Solúveis Totais	480 - 832	Al	5
Na	50 - 70	Fe	0,2 - 1,0
Ca	80 - 110	Mo	0,01 - 0,1
Mg	50 - 110	Se	0,01 - 0,02
N total	5 - 20	V	0,1
N - NO ₃ ⁻	5 - 10	Li	0,07 - 2,50
N - NH ₄ ⁺	0,5 - 5	Cr	0,05 - 0,10
N - NO ₂ ⁻	1,0	Be	0,1 - 0,5
SO ₄ ⁻	100 - 250	As	0,05 - 0,10
H ₂ S	0,2 - 2,0	Ba	1,0
K	5 - 100	Hg	0,002
P	30	Cd	0,01
Cl	70 - 100	CN ⁻	0,2
Mn	0,2 - 2,0	Fenóis	0,001
Cu	0,2 - 1,0	Col. Termot. **	1.000
Zn	1,0 - 5,0	Col. Total **	5.000
B	0,5 - 1,0		

Fonte: Trani et al. (2011)

* Valores em mg L⁻¹, com exceção do pH, CE e RAS; ** Coliformes totais e termotolerantes em NMP 100 mL⁻¹

A adequação da água de irrigação não depende unicamente do teor total, mas também do tipo de sais e os riscos de danos ao solo à longo prazo. Os problemas de solo mais comuns, segundo os quais se avaliam os efeitos da qualidade da água relacionados à salinidade (afeta a disponibilidade de água para as plantas), são a velocidade de infiltração da água no solo e a toxicidade (AYERS & WESTCOT, 1999) (Tabela 6).

Tabela 6 – Grau de restrição de uso da água de irrigação em relação aos problemas que pode ocasionar ao solo.

Problemas e constituintes relacionados com:	Unidades	Grau de restrição ao uso		
		Nenhuma	Moderada	Severa
<u>Salinidade</u>				
CE da água de irrigação (CE_{ai})	$dS\ m^{-1}$	< 0,7	0,7 a 3,0	> 3,0
TDS (total de sais dissolvidos)	$mg\ L^{-1}$	< 450	450 a 2000	> 2000
<u>Capacidade de infiltração do solo</u>				
RAS = 0 a 3 e CE_{ai}		$\geq 0,7$	0,7 a 0,2	< 0,2
RAS = 3 a 6 e CE_{ai}		$\geq 1,2$	1,2 a 0,3	< 0,3
RAS = 6 a 12 e CE_{ai}		$\geq 1,9$	1,9 a 0,5	< 0,5
RAS = 12 a 20 e CE_{ai}		$\geq 2,9$	2,9 a 1,3	< 1,3
RAS = 20 a 40 e CE_{ai}		$\geq 5,0$	5,0 a 2,9	< 2,9
<u>Toxicidade</u>				
Sódio (Na)				
Irrigação por superfície	RAS	< 3,0	3,0 a 9,0	> 9,0
Irrigação por aspersão	$mmol_c\ L^{-1}$	< 3,0	> 3,0	-
Cloro (Cl)				
Irrigação por superfície	$mmol_c\ L^{-1}$	< 4,0	4,0 a 10,0	> 10,0
Irrigação por aspersão	$mmol_c\ L^{-1}$	< 3,0	> 3,0	-
Boro (B)	$mmol_c\ L^{-1}$	< 0,7	0,7 a 3,0	> 3,0
<u>Miscelâneas</u>				
Nitrogênio ($NO_3 - N$)	$mmol_c\ L^{-1}$	< 5,0	5,0 a 30,0	> 30,0
Bicarbonato HCO_3 (irrigação por aspersão)	$mmol_c\ L^{-1}$	< 1,5		> 8,5
pH		Amplitude normal de 6,5 a 8,4		

Fonte: Ayers & Westcot (1999)

Altos valores da RAS indicam maior concentração de sódio em comparação com as de cálcio e magnésio. Em solos argilosos, essa desproporção pode provocar a dispersão das partículas de argila na solução do solo, obstruindo os poros do solo e provocando sua impermeabilização. Desta forma, as concentrações desses elementos na água de irrigação devem ser balanceadas, proporcionando equilíbrio às reações que ocorrem no solo (PAGANINI, 2003). A RAS é expressa pela fórmula apresentada a seguir:

(2)

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Sendo:

RAS – Razão de Adsorção de Sódio

Na – Sódio ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)

Ca – Cálcio ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)

Mg – Magnésio ($\text{mmol}_c \text{L}^{-1}$)

A diminuição da velocidade com que a água de irrigação se infiltra na superfície do solo está normalmente associada à aplicação de água com elevada concentração de sódio. Esta redução pode alcançar tal magnitude que as raízes das plantas não recebam água suficiente entre as irrigações (ALMEIDA, 2010), comprometendo o rendimento da cultura.

Os íons sódio, cloreto e boro contidos no solo ou na água, acumulam-se nas plantas em concentrações suficientemente altas para causar danos e reduzir os rendimentos das culturas sensíveis. Uma vez absorvidos, esses íons são transportados às folhas onde se acumulam durante o processo de transpiração, atingindo maior concentração nas áreas onde a transpiração é mais intensa, ou seja, geralmente nas pontas e nas bordas das folhas (AYERS & WESTCOT, 1999).

Um dos íons mais conhecidos dentre os íons salinos, em relação aos efeitos nas plantas, é o cloro. Sua presença na água de irrigação causa clorose foliar acentuada nas folhas que recebem mais luz, o que pode degenerar em necrose das bordas das folhas. Como limite de tolerância para água de irrigação, o valor de $0,5 \text{ g L}^{-1}$ é recomendado. Porém, varia de acordo com o tipo de solo. Por isso, pode ocorrer que cultivos irrigados com água contendo $0,7$ ou $0,8 \text{ g L}^{-1}$ de cloro não apresentem sintomas (ALMEIDA, 2010).

A toxicidade do íon sódio pode ser notada em forma de necrose ou queimaduras ao longo das bordas da planta. O nível se torna fitotóxico após vários dias ou semanas, com sintomas nas bordas das folhas mais velhas e progressivamente para o centro das folhas (AYERS & WESTCOT, 1999).

Ainda não está claro se a toxicidade por sódio se deve a altas concentrações deste cátion ou é um problema mais complexo que inclui deficiência de cálcio e outras interações. Ao

acumular-se no solo, o sódio impede a assimilação de outros elementos como o cálcio, magnésio e potássio (ALMEIDA, 2010).

O boro é essencial para o desenvolvimento das plantas. Porém em quantidades pequenas se torna tóxico, afetando praticamente todas as culturas. Os sintomas são em geral manchas amarelas ou secas, nas bordas e ápices das folhas mais velhas. Após acumulação, se estendem até o centro das folhas (AYERS & WESTCOT, 1999).

O pH é um parâmetro indicativo do grau de acidez ou alcalinidade do meio. No caso da água de irrigação, o pH normalmente está compreendido entre 6,5 e 8,4. Fora dessa faixa ideal, o pH pode causar desequilíbrio nutricional ou conter íons tóxicos. As mudanças no pH do solo, ocasionadas pela água, são bastante lentas. Para corrigir altos valores de pH são utilizados enxofre e outras substâncias ácidas e baixos valores de pH são corrigidos com calcário (AYERS & WESTCOT, 1999).

O nitrogênio contido na água de irrigação tem o mesmo efeito para as plantas que o nitrogênio aplicado com os fertilizantes. Não obstante, a aplicação de quantidades excessivas via irrigação pode chegar a causar problemas relacionados com crescimento vegetativo excessivo, desigual e/ou tardia maturação dos frutos, ou frutos de inferior qualidade (ALMEIDA, 2010).

A forma facilmente assimilável do nitrogênio nas águas está na forma de nitrato (NO_3^-) e de amônio (NH_4^+). As águas residuárias contêm níveis altos de nitrogênio, entre 10 e 50 mg L^{-1} , particularmente as que provêm das águas de uso doméstico ou das fábricas processadoras de alimentos. As culturas sensíveis podem ser afetadas por concentrações superiores a 5 mg L^{-1} , enquanto as demais suportam até 30 mg L^{-1} (AYERS & WESTCOT, 1999).

3.6 Métodos de irrigação

Atualmente, a irrigação no foco do agronegócio, insere-se em um conceito amplo de agricultura irrigada, sendo uma estratégia de aumento da produção, produtividade e rentabilidade da propriedade agrícola de forma sustentável, preservando o meio ambiente e criando condições para a manutenção do homem no campo, através da geração de empregos (MANTOVANI et al., 2009).

Ainda segundo Mantovani et al. (2009), as funcionalidades básicas da irrigação podem ser resumidas como:

✓ Fornecimento da água de forma a suprir as necessidades hídricas das culturas (parciais ou totais) e de modo a possibilitar o seu desenvolvimento e produção;

✓ Promover a lixiviação e diluição do excesso de sais em áreas com problema de salinidade.

Os métodos de irrigação estão divididos em irrigação por superfície, irrigação por aspersão e irrigação localizada. Dentre estes, os dois principais sistemas de irrigação localizada são gotejamento e microaspersão (MANTOVANI et al., 2009).

Para o bom manejo da irrigação, deve-se levar em consideração a frequência de irrigação e o volume de água a ser aplicado. Os mesmos parâmetros para determinar o volume de água e a frequência de irrigação podem ser usados para o cálculo do tempo de irrigação (TRANI et al., 2011).

A agricultura irrigada tem sido importante estratégia para a otimização da produção mundial de alimentos, proporcionando desenvolvimento sustentável no campo, com geração de empregos e renda. Atualmente, mais da metade da população mundial depende dos alimentos produzidos em áreas irrigadas (MANTOVANI et al., 2009).

Os sistemas de irrigação pressurizados são os mais eficientes para a fertirrigação, sendo que a uniformidade de distribuição dos nutrientes está diretamente relacionada com o coeficiente de uniformidade da água de irrigação (TRANI et al., 2011).

O método de irrigação mais utilizado é o de aspersão (35,3%), seguido pela inundação (24,4%), pivô central (18,9%), outros métodos (8,3%), localizada (7,4%) e sulcos (5,8%) (PAULINO et al., 2011).

A irrigação localizada é o sistema de irrigação em que a água é aplicada diretamente na região radicular da planta em pequenas intensidades (baixa vazão) e alta frequência (turno de rega pequeno), mantendo o solo próximo à capacidade de campo (MANTOVANI et al., 2009).

Os cuidados no manuseio do sistema da irrigação localizada devem ser iniciados no momento da instalação. A adoção de medidas preventivas como escolher o filtro a ser utilizado de acordo com a qualidade da água disponível, limpar os orifícios do sistema de irrigação localizada após o término da instalação e eliminar restos do próprio material e solo que tenham se acumulado devido ao arraste nas parcelas, pode evitar o entupimento do sistema.

O entupimento é uma das maiores preocupações quando se adota a irrigação localizada. A principal consequência é a baixa uniformidade de emissão, causando déficit de água no solo em alguns pontos e excesso em outros (MANTOVANI et al., 2009), fazendo-se necessário o uso de filtros antes da água de irrigação atingir os emissores. O filtro é composto por anéis de

plástico com ranhuras, comprimidos uns contra os outros ao enroscar a carcaça, formando um cilindro filtrante. Compactos e resistentes, admitem pressões de trabalho de até 10 atm (ALMEIDA, 2010).

Os sistemas de irrigação localizada de alta frequência, principalmente gotejamento e microaspersão, são os mais afetados por água de má qualidade. O caso do gotejamento é mais crítico, pois a água conduzida pela rede de tubos instalados passa através de gotejadores com orifício de pequeno tamanho (0,75 a 1,40 mm) e de forma (espiral, labirinto, entre outros) para produzir a perda de carga suficiente para alcançar baixas vazões de descarga (2,0 a 8,0 L h⁻¹) (ALMEIDA, 2010).

A eficiência do filtro escolhido irá depender de quais impurezas presentes na água de irrigação se pretende retirar em relação ao diâmetro da ranhura de cada filtro, que pode variar de 40 a 350 Mesh. A integridade dos filtros utilizados na irrigação pode estar comprometida quanto ao entupimento devido a presença de populações bacterianas, sólidos em suspensão e parâmetros químicos como pH e sólidos solúveis. Isso não quer dizer que a presença desses parâmetros na água de irrigação é vetada, mas exige monitoramento devido à severidade dos danos que podem oferecer ao sistema de irrigação.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido no Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), localizado no município de Araras, Estado de São Paulo. O estudo foi dividido em dois experimentos: laboratório e casa de vegetação.

4.1 Experimento em laboratório

No Laboratório de Poluição do Solo (DRNPA/CCA/UFSCar), foram aplicadas lâminas de irrigação correspondentes ao cultivo de cinco ciclos de alface em amostras de solo indeformadas. As amostras de solo foram coletadas na casa de vegetação localizada na área experimental do CCA, com latitude de 22° 18'53.23"S e longitude de 47° 23'00.91"O e uma elevação de 701 m. O tipo de solo é o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) (EMBRAPA, 2006).

4.1.1 Água de reúso aplicada

Considerando que na época deste experimento em laboratório a estação piloto de tratamento de esgotos do CCA/UFSCar não estava finalizada, a água de reúso utilizada foi coletada da Estação de Tratamento de Esgotos da Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Este sistema de tratamento do esgoto é composto por uma caixa de areia, seguida de um reator anaeróbio compartimentado e, posteriormente, com passagem por leitos cultivados com macrófitas. As características da água de reúso tratada são detalhadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Características da água residuária utilizada no experimento em laboratório proveniente da estação de tratamento de esgoto da FEAGRI/UNICAMP

Ca	P	Mg	K	Na	NO ₃ ⁻	pH	Turbidez	RAS	CE
(mg L ⁻¹)							(NTU)	(mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	(dS m ⁻¹)
15,67	10,84	0,17	26,4	53,7	47,0	6,86	0,61	3,9	0,8

Fonte: dados do experimento

4.1.2 Montagem do experimento

Foram coletadas 18 amostras indeformadas de solo utilizando trado do tipo Uhland e cilindros metálicos. As dimensões dos cilindros são: 7,15 cm de altura, 0,3 cm de espessura e 3,5 cm de raio, resultando em uma área total de 0,0038 m².

A área total dos cilindros foi calculada por:

(3)

$$A = \pi r^2$$

Onde:

A – área total

π – 3,14

r - raio

Após a coleta das amostras de solo, as bordas dos cilindros foram acertadas para retirar o excesso, tomando cuidado para não compactar o solo. Para garantir que não ocorresse perda de solo, a base dos cilindros foi vedada com dupla camada de pano multiuso permeável fixado com elástico (Figura 1).



Figura 1 – Amostras de solo indeformadas após preparo para início do experimento.

Um cilindro de mesmo modelo e dimensão foi acoplado acima de cada cilindro contendo a amostra para possibilitar a formação de lâmina d'água durante a irrigação, vedado com fita adesiva transparente para evitar perdas de água (Figura 2).

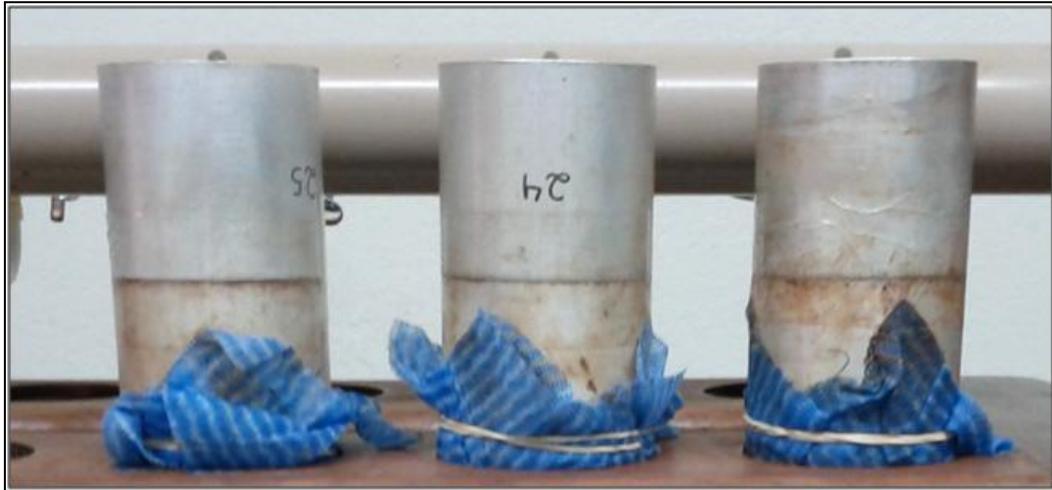


Figura 2 – Cilindros acoplados no permeômetro para permitir formação de lâmina d'água.

O experimento foi montado em permeômetro de carga constante em módulo confeccionado em madeira, com regulagem de altura para as amostras que possui na base um rebaixamento do tamanho exato à circunferência do cilindro, para melhor encaixe das amostras de solo, e um dreno abaixo de cada encaixe para coleta da água após a passagem (Figura 3).



Figura 3 – Módulo experimental instalado no laboratório com permeômetro de carga constante.

Um reservatório nivelado foi acoplado ao módulo (Figura 3) para permitir a formação de lâmina d'água e garantir que cada amostra de solo recebesse água constantemente até

completar o ciclo correspondente. Para controle da quantidade de água e abastecimento do reservatório com vazão constante, foi utilizado um frasco de Mariotte.

O delineamento estatístico adotado foi o fatorial 2 x 5 (água x lâmina). Dois tratamentos (água de reúso tratada e água destilada), e cinco lâminas de irrigação representando os ciclos de cultivo de alface, com três repetições. Foi realizada a análise de variância e as médias comparadas aplicando-se o Teste de Tukey a 5%.

A lâmina de irrigação para simulação de um ciclo de cultivo foi baseada na utilizada por Varallo et al. (2010) de 150 mm, ou seja, 150 L m². Essa lâmina foi redimensionada para a área dos cilindros metálicos (0,0038 m²).

Para simulação de um ciclo de cultivo aplicou-se lâmina d'água de 0,580 litros, para dois ciclos de cultivo a lâmina foi de 1,160 litros, para três ciclos de cultivo 1,740 litros, para quatro ciclos de cultivo 2,320 litros e para cinco ciclos de cultivo 2,900 litros.

A água drenada de ambos os tratamentos foi coletada para análise da condutividade elétrica (CE), razão de adsorção de sódio (RAS), turbidez, pH, sódio (Na), potássio (K), magnésio (Mg), fósforo (P), cálcio (Ca) e nitrato (NO₃⁻) ao final de cada ciclo. O risco de salinidade do solo foi determinado através da porcentagem de sódio trocável (PST) (Equação 1).

Ao final de cada ciclo, as amostras de solo dos dois tratamentos (águas destilada e água de reúso tratada) foram retiradas dos cilindros, homogeneizadas e levadas aos Laboratórios de Química do Solo e Planta, e Física do Solo, ambos do DRNPA/CCA/UFSCar, para realizar as análises de fertilidade completa e granulométrica do solo.

4.2 Experimento em casa de vegetação

O experimento foi instalado em casa de vegetação localizada na área experimental do CCA, com latitude de 22° 18'22.4"S e longitude de 47° 23'11.1"O, entre os meses de Outubro e Dezembro de 2012. O tipo de solo é o LATOSSOLO VERMELHO Distrófico (LVd) (EMBRAPA, 2006), no qual foram transplantadas mudas de alface. O clima local, de acordo com a classificação de Köpen (1948), é do tipo Cwa (sub-tropical), com chuvas de verão e com precipitação média anual de 1300mm.

4.2.1 Água de reúso utilizada

A água de reúso utilizada provém da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) instalada no CCA. A ETE foi dimensionada para receber e tratar 2000 litros de esgoto diariamente, proveniente do restaurante universitário e sanitários.

O sistema de tratamento de esgoto (Figura 4) é composto por uma caixa de gordura, um tanque séptico que promove a digestão anaeróbia do efluente bruto, seguido de um tanque de microalgas, majoritariamente da clorofíceia *Desmodesmus subspicatus*, um filtro anaeróbio de fluxo ascendente (RAFA), no qual ocorre a redução da demanda bioquímica de oxigênio (DBO), seguido de dois leitos cultivados com a espécie *Zantedeschia aethiopica* L. popularmente conhecida como copo de leite, onde ocorre a remoção de poluentes através do meio filtrante que compõe o leito e do desenvolvimento radicular das plantas.



Figura 4 - Estação de Tratamento de Esgoto instalada no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de São Carlos.

A caracterização do efluente da ETE e da água de abastecimento foi feita quinzenalmente durante o período do experimento. Para a coleta das amostras, foram usadas garrafas plásticas desinfetadas e o tempo entre a coleta e início das análises microbiológicas não ultrapassou duas horas.

A água residuária e de abastecimento utilizadas na irrigação do experimento, foram caracterizadas de acordo com a metodologia descrita por APHA (2000), sendo determinados: cálcio (Ca), sódio (Na), potássio (K), cloro (Cl), coliformes totais e termotolerantes, Condutividade Elétrica (CE), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), fósforo (P), magnésio (Mg), nitrogênio inorgânico total, pH, razão de adsorção de sódio (RAS) e turbidez.

4.2.2 Descrição do experimento

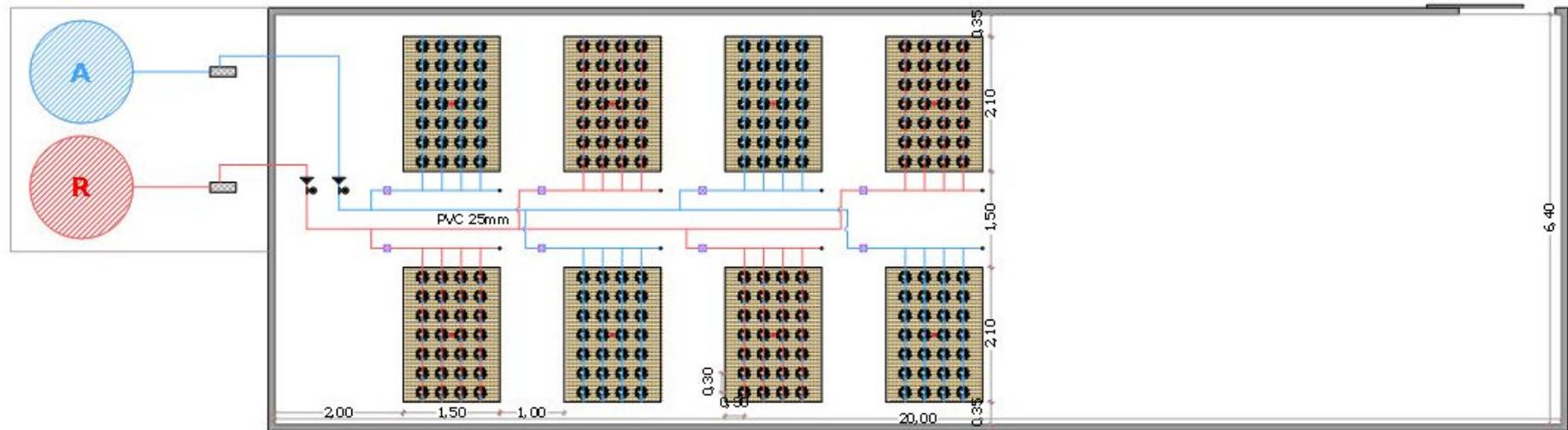
O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, composto por dois tratamentos, água de reúso tratada e água de abastecimento, com quatro repetições cada, totalizando oito parcelas. O experimento teve duas repetições. Foi realizada análise conjunta de experimentos a fim de comparar se houve diferença estatística entre os ciclos cultivados. Após a análise variância aplicou-se o Teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias.

A água utilizada no experimento (residuária e abastecimento) armazenada nos reservatórios parte através de uma linha primária conectando os mesmos às parcelas correspondentes ao tratamento (Figuras 5 e 6). As alfaces foram irrigadas pelo método de gotejamento, com gotejadores de botão autocompensante da marca Netafim^{®*} com vazão de 4 L h⁻¹ instalados a 5 cm da planta.



Figura 5 - Casa de vegetação após a instalação do sistema de gotejamento e das sondas EnviroSCAN^{®*} no centro das parcelas.

*Referência à marca registrada não constitui endosso pelos autores.



Legenda

- | | |
|--|--|
| A = reservatório para água de abastecimento 500 L | ■ = válvula solenóide elétrica 1" |
| R = reservatório para água de reúso 500 L | ● = alface |
| ☐☐☐☐ = conjunto (bomba/filtro de disco/registo) | ● = gotejadores |
| ▼ = válvula reguladora de pressão 15 PSI ³ / ₄ | — = linha de irrigação com água de abastecimento |
| * = manômetro de glicerina 0 a 7 KGF/cm ² | — = linha de irrigação com água de reúso |
| | ● = sonda FDR |

Figura 6 - Detalhamento do croqui reproduzido na casa de vegetação.

Cada parcela constituiu-se de 2,1 m de comprimento e 1,50 m de largura, distantes lateralmente em 1,0 m e na parte central por 1,50 m, espaço no qual passaram as linhas de alimentação dos gotejadores.

Na área útil de cada parcela foi instalada uma sonda EnviroSCAN^{®*} para monitorar a umidade do solo durante o experimento. Esses dados foram coletados diariamente e a partir deles foi realizado o manejo de irrigação, mantendo a umidade do solo na zona radicular da cultura próximo à capacidade de campo, evitando estresse hídrico que pudesse influenciar no desenvolvimento da planta.

A capacidade de campo foi determinada a partir do acoplamento de um anel concêntrico no solo da casa de vegetação com uma sonda EnviroSCAN^{®*} localizada em seu interior. A sonda foi programada para realizar leituras a cada cinco minutos. Manteve-se o solo saturado através da formação de lâmina d'água no interior do anel (Figura 7) durante cinco horas.



Figura 7 - Anel concêntrico acoplado ao solo para formação de lâmina d'água e saturação do solo.

Os dados obtidos pela leitura das sondas na profundidade de 0 a 20 cm foram posteriormente analisados e determinou-se a capacidade de campo do solo em 33%, a qual foi considerada devido ao valor constante de umidade que o solo apresentou após a saturação.

Diariamente foram feitas as leituras das sondas instaladas em cada parcela. A partir do valor médio da umidade das 8 parcelas determinava-se a lâmina de irrigação necessária para retornar o solo à capacidade de campo.

A lâmina de irrigação determinada foi parcelada e aplicada três vezes ao dia, 10:00, 13:00 e 17:00 horas. Esses horários foram definidos para evitar longos períodos sem irrigação e

*Referência à marca registrada não constitui endosso pelos autores.

fornecimento de água para as plantas nos horários do dia que apresentam temperaturas mais quentes.

Dois ciclos de alface Elisa foram cultivados em casa de vegetação, sendo cada parcela composta por quatro linhas de plantas com espaçamento de 0,30 m entre si e 0,30 m entre plantas (RAIJ et al., 1997), totalizando 28 alfaces em cada parcela, sendo 112 plantas por tratamento.

Antes de iniciar o experimento foi realizada a correção do solo e adubação de cobertura de acordo com as recomendações do Boletim 100 (RAIJ et al., 1997). A fertirrigação foi realizada de acordo com as recomendações do Boletim 100 (RAIJ et al., 1997), aplicando-se 80 kg ha⁻¹ de nitrogênio aos 20 e 30 dias após o transplantio das mudas.

A concentração de nitrogênio em kg ha⁻¹ foi ajustada para a área de cada planta, de 0,09 m² e multiplicado por 112, correspondente à quantidade de plantas em cada tratamento, resultando em 260g de nitrato de cálcio (Ca(NO₃)₂) para o tratamento com água de abastecimento o qual recebeu a dosagem integralmente aos 20 e 30 dias após o transplantio.

Devido à concentração de nitrogênio na água de reúso tratada, o valor de nitrato de cálcio utilizado na fertirrigação foi ajustado considerando o aporte pelo efluente. Os valores de nitrato de cálcio aplicados via fertirrigação estão descritos na Tabela 8.

A concentração de nitrogênio na água de reúso provinda da ETE do *campus*, passou de 0,45 mg L⁻¹ no primeiro ciclo para 25 mg L⁻¹ no segundo. O aumento de nitrogênio na água de reúso ocorreu devido ao comprometimento da eficiência do tanque de microalgas, principal responsável pela remoção de nitrogênio e fósforo na planta da estação, o qual foi contaminado durante a limpeza do filtro anaeróbico de fluxo ascendente permanecendo inativo por cerca de 20 dias.

Tabela 8 – Fertirrigação com a concentração de nitrato de cálcio compensada para o tratamento com água de reúso tratada nos dois ciclos cultivados.

Aplicação	Data fertirrigação	Nitrogênio na água de reúso tratada (mg L ⁻¹)	Irrigação já aplicada (L planta ⁻¹)	Nitrato de cálcio aplicado* (g)	
Ciclo 1	20 dias	19/10/2012	0,45	12,37	259,38
	30 dias	01/11/2012	0,45	5,14	259,05
Ciclo 2	20 dias	30/11/2012	25,0	13,88	221,13
	30 dias	13/12/2012	25,0	5,17	245,52

*O nitrato de cálcio contém 15,5% de nitrogênio em sua fórmula

Durante o experimento a temperatura e a umidade relativa do ar foram monitoradas diariamente no interior da casa de vegetação por meio de um termo-higrógrafo digital (Figuras 8 e 9).

No primeiro ciclo de cultivo (05/10 a 12/11/12) a temperatura média no interior da casa de vegetação foi de 28,9 C° e a externa foi de 26,0 C°, no segundo ciclo cultivado (14/11 a 20/12/12) a temperatura interna foi de 29,7 C° e a externa foi de 26,7 C°. A umidade média no interior e exterior da casa de vegetação no primeiro ciclo foi de 59%. No segundo ciclo cultivado a umidade média foi de 55,5% no interior da casa de vegetação e 54,3% no exterior.

Em ambos os ciclos cultivados a colheita foi realizada aos 38 dias após o transplante, e as lâminas totais aplicadas foram de 193,9 mm e 212,24 mm para o primeiro e segundo ciclos, respectivamente.

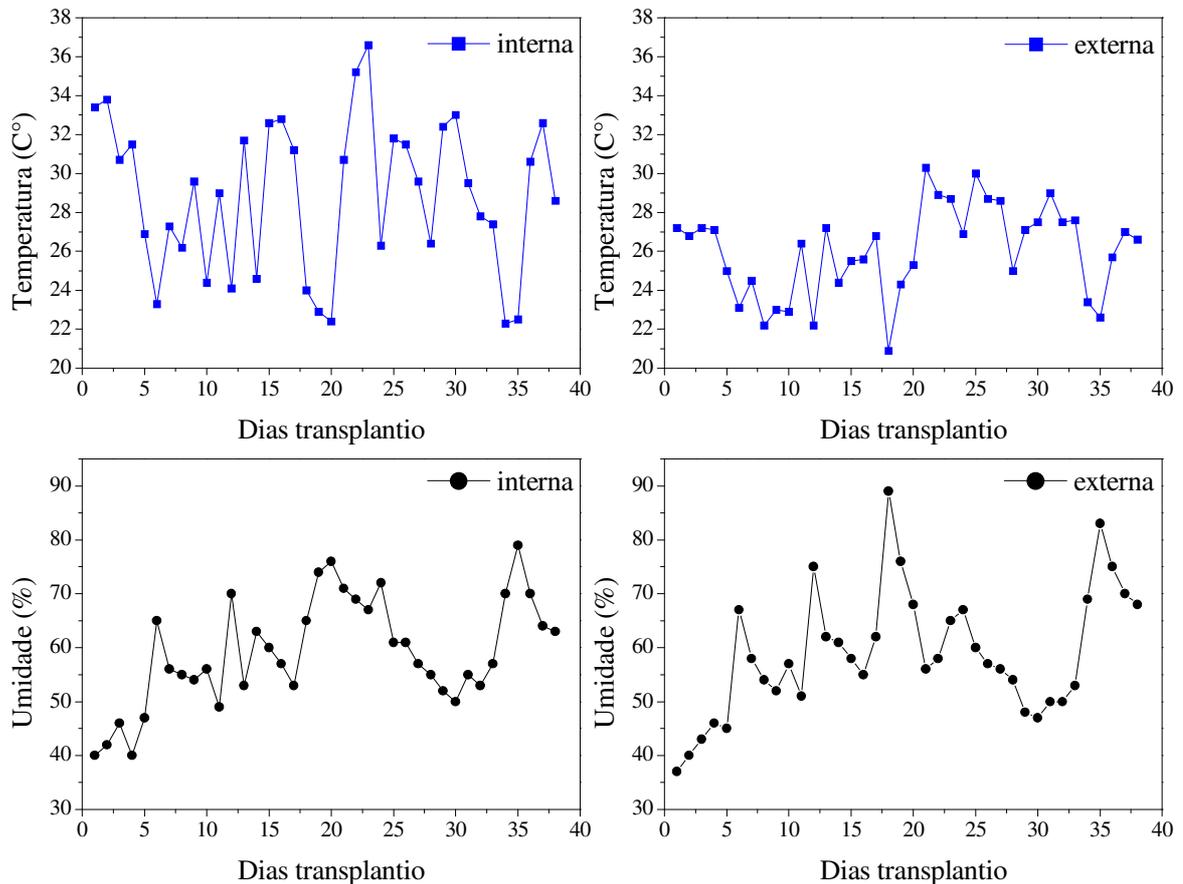


Figura 8 - Temperatura e umidade (interna e externa) na casa de vegetação durante o primeiro ciclo de cultivo.

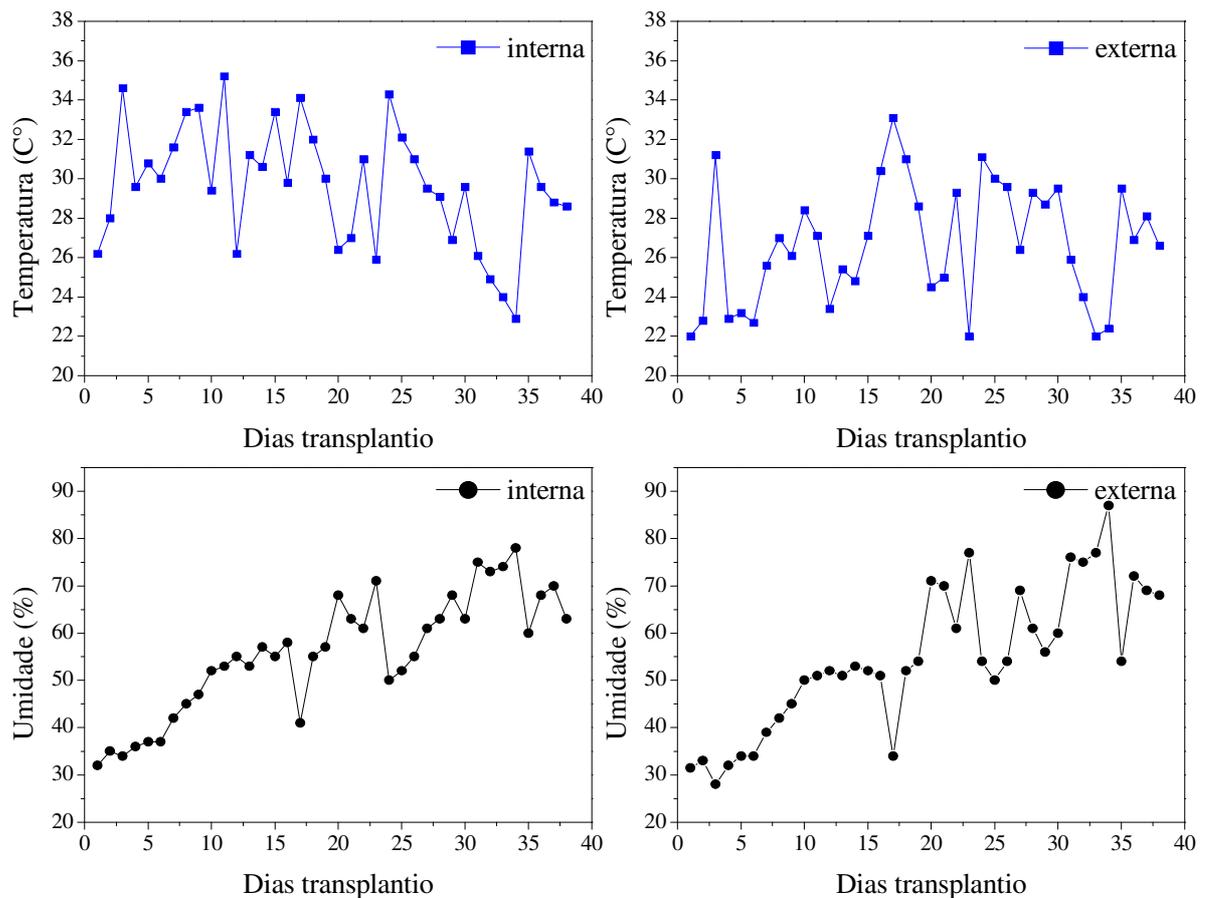


Figura 9 - Temperatura e umidade (interna e externa) na casa de vegetação durante o segundo ciclo de cultivo.

4.2.3 Amostragem do solo após cultivo da alface com água de reúso

Após colher as plantas de alface, foram coletadas amostras de solo na área útil de cada parcela, totalizando quatro amostras de cada tratamento na profundidade de 0-20 cm. As quatro amostras foram homogeneizadas, resultando em uma amostra composta para cada tratamento.

As amostras de solo foram encaminhadas ao Laboratório de Física do Solo para determinação da granulometria, densidade e condutividade hidráulica saturada do solo e para o Laboratório de Química do Solo e Planta para análise química para fins de fertilidade do solo.

Para determinação de coliformes totais, *Escherichia coli* e heterotróficos no solo foi utilizada a metodologia descrita em Silva et al. (2007) e APHA (2000). As placas petrifilm foram utilizadas para incubar as amostras. O tempo de incubação a 35° foi de 24 horas para coliformes totais e 48 horas para *E. coli* e heterotróficos.

4.2.4 Amostragem da cultura

Folhas recém-desenvolvidas da metade a 2/3 do ciclo das plantas de alface foram coletadas para a análise química de tecido vegetal conforme a metodologia de coleta descrita no Boletim 100 (RAIJ et al., 1997). As folhas foram coletadas da área útil das parcelas, totalizando 10 folhas por parcela. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Química do Solo e Planta.

Para a determinação de coliformes totais e *E. coli* nas plantas de alface, foram coletadas folhas recém-desenvolvidas das plantas localizadas na parte útil de cada parcela, totalizando 10 folhas. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos estéreis para diminuir o risco de contaminação.

Após a coleta, as folhas foram pesadas e colocadas em solução de água peptonada a 0,1% conforme metodologia descrita em Silva et al. (2007). Foram utilizadas placas petrifilm para incubação e posterior contagem das unidades formadoras de colônia (UFC) presentes nas folhas de alface. O período de incubação foi de 24 horas para contagem de UFC de coliformes totais e 48 horas para *E. coli*.

Foram compradas três plantas de alface em três estabelecimentos comerciais diferentes, que foram denominadas estabelecimento comercial 1 (EC1), estabelecimento comercial 2 (EC2) e estabelecimento comercial 3 (EC3). Essas plantas também foram analisadas quanto à presença de coliformes totais e *E. coli*, seguindo a metodologia descrita em Silva et al. (2007). Os resultados foram comparados com as plantas produzidas nesse experimento e com a Resolução RDC n. 12 de 2001 da ANVISA, que determina os valores máximos para presença de patógenos em alimentos.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Experimento em laboratório

5.1.1 Água de reúso aplicada no solo

Para determinar a qualidade da água de reúso tratada utilizada no experimento, comparou-se as características iniciais (Tabela 7) com duas recomendações, uma visando os padrões para irrigação de hortaliças (TRANI et al., 2011) e a outra visando o risco de salinidade no solo (AYERS & WESTCOT, 1999).

A água de reúso utilizada no experimento, apresentou parâmetros em conformidade com os padrões indicados para irrigação de hortaliças descritos por Trani et al. (2011), exceto com relação à concentração de nitrato (47 mg L^{-1}), a qual apresentou-se acima do máximo recomendado (10 mg L^{-1}). Uma vez que o nitrato apresenta fácil lixiviação, podendo atingir camadas mais profundas do solo e até o lençol freático a contaminação de águas subterrâneas pode ocorrer.

De acordo com os parâmetros descritos por Ayers & Westcot (1999) para garantir a qualidade da água de irrigação e evitar a salinização do solo, a água de reúso tratada estava em conformidade com os valores recomendados, exceto para o teor de P ($10,84 \text{ mg L}^{-1}$), K ($26,4 \text{ mg L}^{-1}$) e Na ($53,7 \text{ mg L}^{-1}$), que estão acima dos limites de $10,2 \text{ mg L}^{-1}$, 2 mg L^{-1} e 40 mg L^{-1} , respectivamente.

A condutividade elétrica ($0,8 \text{ dS m}^{-1}$) e a RAS ($3,9 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$)^{0,5} indicaram restrição de aplicação no solo de ligeira a moderada em relação à toxicidade pelo íon sódio na irrigação por superfície e potencial de infiltração no solo.

De acordo com o Teste de Tukey a 5% de probabilidade, os valores de RAS após a passagem pelo solo não apresentaram diferença significativa entre os ciclos simulados, no entanto, há diferença significativa entre os tratamentos aplicados (Tabela 9).

Neste estudo, os valores da RAS permaneceram enquadrados nas recomendações seguidas (AYERS & WESTCOT, 1999; TRANI et al., 2011).

É difícil estabelecer qual recomendação é a mais adequada para interpretar os resultados do presente experimento, uma vez que tanto as propriedades agronômicas do solo quanto o risco de salinidade são objetos de estudo para posterior reprodução do experimento em casa de vegetação.

Tabela 9 – Comparação das médias da água drenada para ambos os tratamentos (água destilada e água de reúso tratada) através do Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Parâmetros		Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5	Média
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{0,5}	A.R.	3,49 aA	2,37 aA	3,45 aA	3,96 aA	4,30 aA	3,45 a
	A.D.	0,10 bA	0,13 bA	0,07 bA	0,05 bA	0,03 bA	0,08 b
pH	A.R.	7,62 aA	7,38 aA	7,50 aA	7,40 aA	7,34 aA	7,44 a
	A.D.	6,25 aA	6,24 aA	6,45 aA	6,68 aA	6,71 aA	6,47 a
Na (mg L ⁻¹)	A.R.	51,15 aA	42,00 aA	43,87 aA	47,37 aA	50,00 aA	46,31 a
	A.D.	1,27 bA	1,97 bA	0,63 bA	0,33 bA	0,20 bA	0,88 b
K (mg L ⁻¹)	A.R.	15,40 aA	9,30 aA	13,60 aA	9,40 aA	14,70 aA	12,08 a
	A.D.	1,50 bA	0,97 aA	0,63 bA	0,47 aA	0,40 bA	0,79 b
Mg (mg L ⁻¹)	A.R.	3,50 aA	5,00 aA	3,67 aA	2,33 aA	2,50 aA	3,46 a
	A.D.	5,00 aA	2,00 aA	1,00 aA	1,00 aA	1,00 aA	2,00 a
P (mg L ⁻¹)	A.R.	3,28 aA	2,26 aA	0,53 aA	0,64 aA	2,01 aA	1,60 a
	A.D.	0,12 bA	0,22 aA	0,15 aA	0,11 aA	0,11 aA	0,14 b
Ca (mg L ⁻¹)	A.R.	20,00 aA	29,00 aA	15,67 aA	11,33 aA	10,50 aA	17,62 a
	A.D.	26,67 aA	10,33 aA	4,67 aA	3,00 aA	2,00 aA	9,33 a
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	A.R.	14,50 aA	16,43aA	15,00 aA	34,13 aA	25,00 aA	21,21 a
	A.D.	4,80 aA	3,80aA	0,27 aA	0,27 bA	0,20 bA	1,87 b
EC (dS m ⁻¹)	A.R.	0,74 aA	0,77 aA	0,60 aA	0,74 aA	0,77 aA	0,72 a
	A.D.	0,31 aA	0,14 bA	0,08 bA	0,06 bA	0,05 bA	0,13 b
k _{sat} (cm min ⁻¹)	A.R.	0,02 aA	0,10 aA	0,10 aA	0,02 aA	0,04 aA	0,06 a
	A.D.	0,05 aA	0,05 aA	0,04 aA	0,04 aA	0,04 aA	0,05 a
Turbidez (NTU)	A.R.	1,72 aA	3,75 aA	2,39 aA	2,62 aA	4,42 aA	2,96 a
	A.D.	1,64 aA	2,25 aA	3,38 aA	1,58 aA	1,67 aA	2,11 a

Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, letras minúsculas na coluna e letras maiúsculas na linha

A.R. – Água de reúso tratada A.D. – Água destilada

5.1.2 Análise química do solo e da água lixiviada após passagem pelo solo

A salinização é o processo de aumento da concentração de sais no solo e traz prejuízos ao desenvolvimento e produção de hortaliças e outras culturas. Uma das maneiras de indicar a salinidade da solução do solo consiste na determinação da condutividade elétrica (CE), a qual mede a concentração de íons em uma solução (TRANI et al., 2011).

Com base nas recomendações de Ayers & Westcot (1999), para que a água de irrigação não apresente grau de restrição quanto à aplicação no solo, a CE deve ser menor que 0,7 dS m⁻¹. A água de reúso utilizada no experimento antes de ser aplicada ao solo, apresentava CE de 0,8 dS m⁻¹, se enquadrando nos limites adequados para irrigação, mas apresentando restrição de aplicação no solo de ligeira a moderada, o que indicou risco de promoção de salinidade do solo.

Os solos salinos são geralmente alcalinos, por isso determinar o pH é importante para caracterização adequada (MEURER, 2010). O pH do solo apresentou alterações após a passagem de lâmina de irrigação correspondente a cinco ciclos de cultivo. No entanto ressalta-se que houve aumento a partir do ciclo dois, mas ao final, no ciclo cinco, o valor foi próximo do controle (Tabela 10).

Tabela 10 – Análise química para fins de fertilidade do solo após aplicação de lâmina de irrigação correspondente a cinco ciclos de cultivo de alface.

Parâmetros	Controle	Ciclo 1	Ciclo 2	Ciclo 3	Ciclo 4	Ciclo 5
pH	5,4	4,9	5,4	5,3	5,5	5,6
K*	2	1,9	2,3	1,8	3,2	2,2
Ca*	18	14	16	16	23	18
Na*	1	1,7	2,5	2	3,1	3
Mg*	4	4	4	4	5	4
Al*	0,4	0,5	0,4	1	0,8	1
SB*	24	19,9	22,3	21,8	31,2	24,2
CTC total*	48	48,9	44,3	43,8	49,2	46,2
CTC efetiva*	25,4	22,1	25,2	24,8	35,1	28,2
H+Al*	24	29	22	22	18	22
M.O. (g dm ⁻³)	21	20	20	20	18	19
P**	5	8	11	10	33	19
V%	50	41	50	50	63	52
PST (%)	3,94	7,69	9,92	8,06	8,83	10,64

* Valores expressos em mmol_c dm⁻³ ** Valores expressos em mg dm⁻³

Legenda: M.O. – Matéria orgânica

A água de reúso utilizada no experimento ocasionou alterações no pH do solo mas não comprometeu a qualidade do solo. Não houve diferença significativa entre os tratamentos (água de reúso e água destilada) e os ciclos simulados para as amostras de água coletadas após passagem pelo solo (Tabela 9).

O pH da água de reúso se enquadrou no recomendado por Ayers & Westcot (1999), permanecendo entre 6,5 a 8,4. Para Trani (2011) os valores considerados máximos estão entre 7,0 e 7,5, dentro dos quais a água utilizada apresentou valor inferior (6,86).

Semelhante média de pH para efluente de origem predominantemente doméstica foi mencionada por diversos autores, (Medeiros et al. (2005) valor de 7,23; Sandri et al. (2006) valor de 7,3; e Varallo et al. (2010) de 6,9), os quais afirmam que a água de reúso não provocou alteração deste parâmetro.

Altas concentrações de sódio em solos argilosos, não acompanhada de concentrações comparativamente elevadas de cálcio e magnésio, podem levar à conseqüente impermeabilização do solo. É preciso que as concentrações desses elementos no solo

apresentem-se em proporções equilibradas, fixadas com base na relação de adsorção de sódio (PAGANINI, 2003).

A PST indica a saturação do complexo de troca do solo pelo íon sódio, sendo obtida pela relação entre o teor de sódio trocável e a capacidade de troca catiônica efetiva (CTC_e) do solo (MEURER, 2010) (Figura 10).

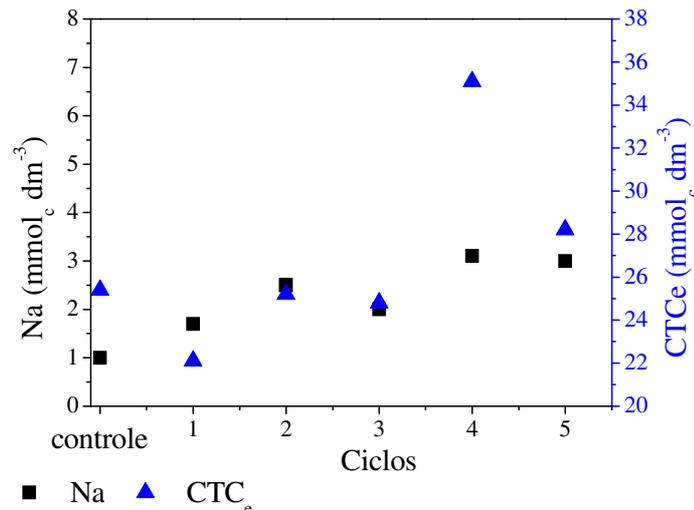


Figura 10 - Variação da PST e CTC_e do solo após lixiviação da água destilada e água de reúso.

No ciclo quatro, a CTC_e aumentou devido à concentração de nutrientes adicionados pela água de reúso, conforme verificado na Tabela 10. Houve um aumento linear das cargas negativas, aumentando a CTC_e e, simultaneamente, decrescendo as cargas positivas (MEURER, 2010).

A porcentagem de sódio trocável apresentou aumento entre os ciclos. O ciclo cinco apresentou PST de 10,64%, indicou tendência de aumento da PST com a aplicação da lâmina de irrigação correspondente a cinco ciclos de cultivo, podendo atingir níveis críticos (acima de 15%) e proporcionar prejuízos à cultura e ao solo (Figura 11).

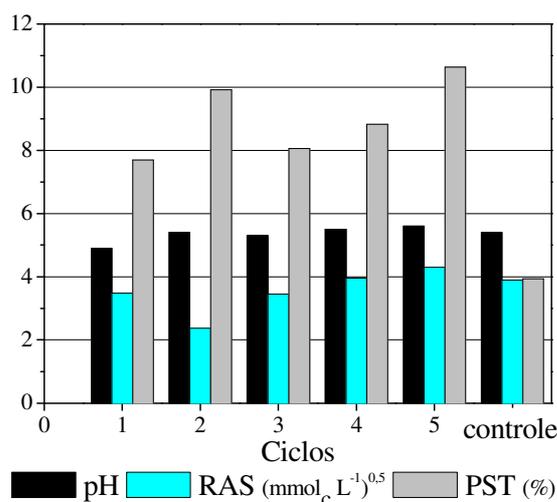


Figura 11 - Parâmetros determinadores da salinidade no solo após lixiviação da água de reúso.

Em experimento desenvolvido em coluna de solo, Varallo et al. (2010), obtiveram valores de PST inferiores ao deste estudo. Após receber água destilada, o solo apresentou PST de 0,5%, enquanto nesse estudo o valor obtido foi de 3,94%. Após aplicar a água de reúso, os autores observaram 2% de PST contra 10,64% obtidos na simulação do ciclo cinco. Apesar de ambos os estudos utilizarem água de reúso com origem predominantemente doméstica, as características químicas da água não são similares. A composição do efluente muda diariamente, bem como o solo utilizado, justificando as diferenças observadas.

A CE da água de reúso utilizada ($0,8 \text{ dS m}^{-1}$), não apresentou risco de salinização do solo, porém, foi possível observar que, apesar dos resultados não apresentarem saturação do solo pela presença do íon sódio, houve aumento da PST. Considerando longo tempo de irrigação com água de reúso, uma vez que a concentração de Na nessa água foi de $53,7 \text{ mg L}^{-1}$ havia risco de sodificação do solo.

O sódio foi retido no solo principalmente nos ciclos quatro e cinco. Após a lixiviação da água de reúso, os valores chegaram a 3,1 e $3,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, respectivamente. O solo que recebeu apenas água destilada, apresentou teor de $1 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ de sódio. Sandri et al. (2007) e Varallo et al. (2010) também relataram aumento de sódio no solo após aplicação de água residuária em experimento conduzido em campo e em coluna de solo respectivamente.

O excesso de sódio no solo pode provocar a dispersão da argila e matéria orgânica em alguns casos (MEURER, 2010). De acordo com a Tabela 10 foi possível observar que o teor de matéria orgânica no solo após passagem da água de reúso foi menor nos ciclos quatro e cinco, os quais apresentaram a maior concentração de sódio no solo.

Inicialmente, a água de reúso utilizada apresentou teor de sódio de $53,7 \text{ mg L}^{-1}$. Após a passagem pelo solo, o ciclo um atingiu o valor máximo de $51,5 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto o ciclo dois atingiu o menor valor, de $42,0 \text{ mg L}^{-1}$. Não houve diferença significativa para as médias das lâminas aplicadas nos cinco ciclos simulados (Tabela 9).

O solo que recebeu o tratamento com água destilada, apresentou o mesmo teor de Ca que o ciclo cinco, de $18 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$. Com base nesses dados é possível sugerir que a água de reúso não ocasionou aporte desse nutriente ao solo.

De acordo com a análise de variância, não houve diferença significativa entre os tratamentos com água de reúso e água destilada e também não houve diferença entre as lâminas aplicadas (Tabela 9). Bonini et al. (2011) em experimento com coluna de solo preenchida com Latossolo Vermelho Distrófico, observaram incremento de cálcio no solo após a aplicação da água residuária, passando de $28 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$, para $37 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

Durante o experimento, os valores de cálcio na água de reúso lixiviada, foi de $29,0 \text{ mg L}^{-1}$ no ciclo dois, e $10,5 \text{ mg L}^{-1}$ no ciclo cinco. Observa-se que no ciclo dois houve lixiviação do cálcio e no ciclo cinco retenção, uma vez que o teor de Ca no solo no ciclo dois foi de $14 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ e no ciclo cinco $15 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A água de reúso utilizada possuía inicialmente $15,67 \text{ mg L}^{-1}$ de Ca. Apesar das variações na concentração no decorrer dos ciclos, (C1: 20 mg L^{-1} , C2: 29 mg L^{-1} , C3: $15,67 \text{ mg L}^{-1}$, C4: $11,33 \text{ mg L}^{-1}$ e C5: $10,5 \text{ mg L}^{-1}$) os primeiros ciclos, que receberam menor quantidade de água, apresentaram maior lixiviação. Posteriormente ao terceiro ciclo, o cálcio apresentou tendência a se concentrar no solo, diminuindo o lixiviado.

A concentração de magnésio que o solo apresentou após aplicação de água destilada foi de $4,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ nos ciclos 1, 2, 3, 5 e grupo controle (Tabela 10). Houve aumento apenas no ciclo quatro para $5,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$.

A água destilada após passagem pelo solo apresentou concentração de magnésio decrescente. Nos ciclos um e dois apresentou 5 mg L^{-1} de Mg e a partir do ciclo três atingiu estabilidade e permaneceu com 1 mg L^{-1} até o ciclo 5, ou seja, a água destilada promoveu a lixiviação do nutriente no solo. Os resultados não apresentaram diferença significativa no teste de variância entre os tratamentos utilizados e nas lâminas aplicadas (Tabela 9).

Após a lixiviação, a água de reúso apresentou concentração de Mg maior que a inicial, entre $2,33$ e $5,00 \text{ mg L}^{-1}$, valores maiores que a concentração inicial. É possível afirmar que a água de reúso não ocasionou aporte de magnésio ao solo e sim sua lixiviação (Tabela 10). Medeiros et al. (2005) e Varallo et al. (2010) também não observaram alteração do magnésio no solo que pudesse ser atribuída à aplicação de água de reúso.

O potássio no solo após aplicação da água de reúso, apresentou $2,2 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no ciclo cinco. Quando comparado com o grupo controle, que apresentou $2,0 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ não apresentou aumento no decorrer dos ciclos, não sendo possível atribuir alterações desse nutriente no solo proveniente da aplicação da água de reúso (Tabela 10).

A água de reúso lixiviada apresentou concentração média de $12,08 \text{ mg L}^{-1}$ de potássio (Tabela 9) entre os cinco ciclos simulados, não sendo identificada diferença significativa entre a concentração de potássio e as lâminas aplicadas para cada ciclo.

Os valores de potássio no solo em experimento desenvolvido por Varallo et al. (2010) também não apresentou diferença, passando de $3,5 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ no solo natural, para $3,7 \text{ mmol}_c \text{ dm}^{-3}$ após aplicação da água de reúso.

O fósforo no solo após passagem da água de reúso aumentou simultaneamente aos ciclos (Tabela 10), onde apresentou 5 mg L^{-1} no grupo controle, 8 mg L^{-1} no ciclo um, aproximadamente 11 mg L^{-1} nos ciclos dois e três, 33 mg L^{-1} no ciclo quatro e 19 mg L^{-1} no ciclo cinco. Apesar do aumento no ciclo 4, dentre os demais ciclos o aporte de P no solo ocorreu de forma gradual.

A água residuária aplicada no solo possuía $10,84 \text{ mg L}^{-1}$ de fósforo e as amostras do lixiviado apresentaram valores inferiores a este no decorrer dos ciclos, evidenciando o aporte do nutriente nos ciclos de cultivo simulados.

De acordo com a comparação de médias realizada através da aplicação do Teste de Tukey a 5%, não houve diferença significativa entre as médias de fósforo no lixiviado entre os ciclos simulados com água de reúso (Tabela 9).

O nitrogênio, facilmente assimilável pelas plantas, está na forma de nitrato e amônio. O nitrogênio é essencial, devendo ser tomadas precauções apenas quando ocorrer indícios de toxidez às plantas (SANDRI et al., 2007).

As recomendações padrão para água de irrigação devem ser respeitadas para proteger a saúde do consumidor e evitar a contaminação do lençol freático devido à lixiviação, e das águas superficiais.

Após a passagem da água residuária pelo solo no ciclo cinco, a concentração de nitrato foi de 25 mg L^{-1} , indicando tendência de retenção no solo, uma vez que, antes da aplicação, a água apresentava 57 mg L^{-1} . Porém, de acordo com a análise de comparação de médias (Tabela 9), não houve diferença estatística significativa entre os ciclos simulados para a concentração de nitrato nas amostras de água residuária lixiviada.

5.1.3 Propriedades físicas do solo e da água lixiviada após passagem pelo solo

Durante a aplicação de lâmina d' água correspondente a cinco ciclos de cultivo simulados, a turbidez se manteve dentro do adequado para água de reúso utilizada na agricultura (Figura 12), que deve estar entre 2 e 10 unidades (EPA, 2004).

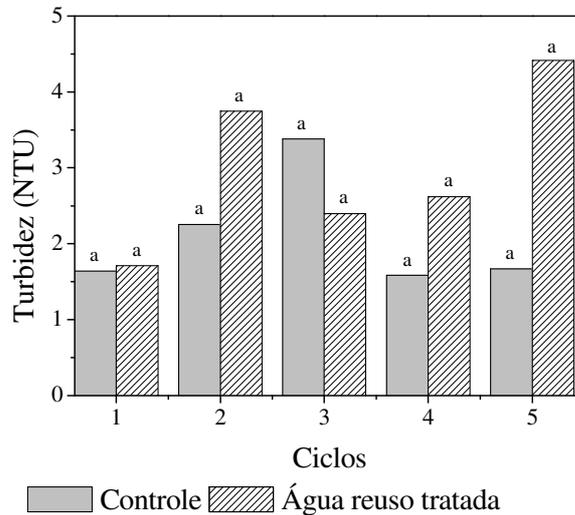


Figura 12 - Turbidez da água de reúso e água destilada após lixiviação no solo.

A água de reúso utilizada no experimento possuía turbidez de 0,61 NTU, se enquadrando nos padrões exigidos para irrigação. Porém, após a passagem pelo solo, o valor encontrado indicou que houve degradação do solo e com isso, partículas de solo foram carregadas juntamente com a água lixiviada, atingindo valores entre 1,09 e 4,42 NTU. Mesmo assim a turbidez se manteve dentro dos padrões. De acordo com a análise de variância não houve diferença significativa entre os tratamentos e as lâminas aplicadas (Tabela 9).

De acordo com a classificação descrita em Bernardo et al. (2006), a condutividade hidráulica saturada do solo foi moderada tanto para o tratamento com água de reúso quanto para o tratamento com água destilada. A análise de variância não indicou diferença significativa entre os tratamentos e lâminas utilizados (Tabela 9).

Para Latossolo Vermelho Amarelo, Varallo et al. (2010), obtiveram $0,04 \text{ cm min}^{-1}$ para o tratamento com água residuária, valor semelhante ao encontrado nesse estudo, que oscilou entre $0,02$ e $0,04 \text{ cm min}^{-1}$ (Figura 13).

Os valores encontrados por Bonini et al. (2011) para Latossolo Vermelho também são semelhantes, ou seja, $0,027 \text{ cm min}^{-1}$ após a passagem de água residuária no solo e $0,03 \text{ cm min}^{-1}$ após passagem de água destilada.

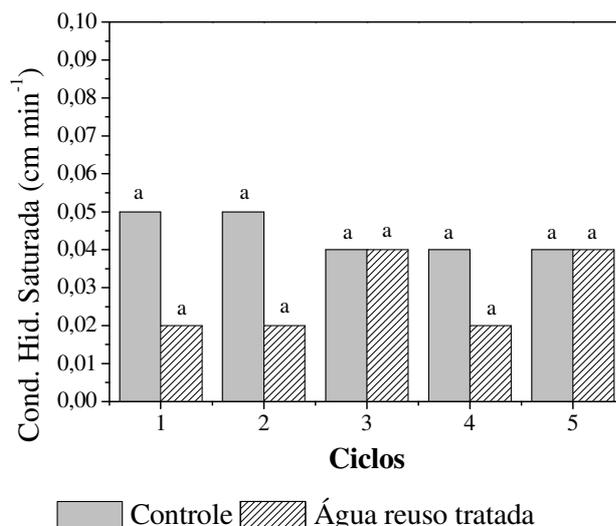


Figura 13 - Condutividade hidráulica saturada do solo após aplicação de lâmina de irrigação correspondente a cinco ciclos de cultivo.

A granulometria do solo não teve alterações entre os tratamentos e lâminas no decorrer do experimento que pudessem ser atribuídas à aplicação de água de reúso tratada (Tabela 11) e sim à variabilidade espacial que o solo apresenta.

Tabela 11 – Análise granulométrica do solo após simulação dos cinco ciclos de cultivo de alface e grupo controle.

Tratamentos	Argila	Areia			Silte
		Grossa	Fina	Total	
Controle	700	70	90	160	140
Ciclo 1	730	80	90	170	100
Ciclo 2	660	90	80	170	170
Ciclo 3	660	90	90	180	160
Ciclo 4	610	90	100	190	200
Ciclo 5	660	80	90	170	170

Valores expressos em g kg⁻¹

Bonini et al. (2011) afirmaram que quando os valores de sódio e cálcio se elevam concomitantemente, como ambos são cátions, competem por vaga no complexo de troca do solo, anulando os efeitos adversos da presença de sódio.

A interpretação dos resultados das análises físicas e químicas do solo no ciclo quatro apresenta resultados divergentes dos demais ciclos simulados, o que não pode ser diretamente atribuído à lâmina aplicada, uma vez que o ciclo cinco recebeu maior lâmina e não apresentou essa variação.

As amostras de solo foram homogeneizadas após a lixiviação da água e posteriormente enviadas para análise. É possível que uma ou mais amostras apresentaram características não uniformes em relação às demais devido a variabilidade espacial do solo, justificando os distintos resultados obtidos no ciclo quatro.

5.2 Experimento em casa de vegetação

5.2.1 Qualidade da água utilizada na irrigação

No decorrer dos dois ciclos de cultivo de alface, amostras da água de abastecimento e água de reúso tratada foram coletadas para caracterização da qualidade da água utilizada na irrigação, conforme exposto na Tabela 12.

Tabela 12 – Valores médios e desvio padrão dos parâmetros de caracterização da água de irrigação utilizada nos dois ciclos de alface cultivados e porcentagem de sódio trocável no solo.

Parâmetros	Unidades	Água abastecimento	Água reúso tratada
RAS	-	7,68 ± 0,33	21,64 ± 1,15
PST	%	3,22 ± 0,15	6,44 ± 0,52
Condutividade elétrica	dS m ⁻¹	0,19 ± 0,09	0,66 ± 0,31
pH	-	7,93 ± 0,29	7,72 ± 0,21
Cloro	mg L ⁻¹	< 0,5*	< 0,5*
Fósforo	mg L ⁻¹	0,47 ± 0,06	3,92 ± 0,55
Magnésio	mg L ⁻¹	1,53 ± 1,66	1,46 ± 1,64
Cálcio	mg L ⁻¹	9,25 ± 3,41	19,59 ± 5,6
Potássio	mg L ⁻¹	2,31 ± 0,581	13,70 ± 0,64
Sódio	mg L ⁻¹	16,97 ± 0,64	68,41 ± 17,57
Turbidez	NTU	0,41 ± 0,41	2,65 ± 2,65
Nitrogênio Inorgânico Total	mg L ⁻¹	0,21 ± 0,18	20,78 ± 4,55
Coliformes totais	NMP 100mL ⁻¹	< 10 ⁵ *	< 10 ⁵ *
Coliformes termotolerantes	NMP 100mL ⁻¹	< 10 ³ *	< 10 ³ *
DQO	mg L ⁻¹	57,32 ± 8,52	86,58 ± 7,64
DBO	mg L ⁻¹	3,64 ± 2,20	10,31 ± 1,54

* não há desvio padrão para essas médias

Devido à ausência de legislação que determine os padrões adequados para aplicação agrícola de água residuária de esgoto doméstico, foram utilizados os padrões de qualidade da água para irrigação de hortaliças (TRANI et al., 2011) na interpretação dos resultados. Para determinar o risco de salinidade do solo, foram utilizadas as faixas adequadas para água de irrigação descritas por Ayers & Westcot (1999).

Os parâmetros RAS e CE de ambos os tratamentos enquadraram a água utilizada na irrigação deste experimento com grau de restrição severa para prejudicar a infiltração de água no solo de acordo com Ayers & Westcot (1999).

Analisada separadamente, a CE não apresentou restrição de uso. Entretanto, a RAS tanto para a água de abastecimento ($7,68 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$)^{0,5} quanto para a água de reúso tratada ($21,64 \text{ mmol}_c \text{ L}^{-1}$)^{0,5} apresentou restrição severa, que pode ser ocasionada por alta concentração de sódio em relação ao cálcio e magnésio.

Os parâmetros Na, Ca, Mg, K, P e Cl estão dentro dos valores máximos adequados descritos por Trani et al. (2011). No entanto, os padrões microbiológicos estão em desacordo. Tanto a água de reúso tratada quanto a água de abastecimento apresentaram concentração de coliformes totais na ordem de $10^5 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$ e o valor máximo aceitável para água de irrigação é de até $10^3 \text{ NMP } 100 \text{ mL}^{-1}$.

As características microbiológicas das águas utilizadas no cultivo da alface indicaram que há chances de ocorrer contaminação das plantas por coliformes totais. No gotejamento superficial, apesar de oferecer menor contato com a área foliar da planta, ocorre o umedecimento da superfície do solo, permitindo que a parte consumível da planta entre em contato com a água utilizada, e a contaminação ocorra (AZEVEDO, 2004). Não foi detectada a presença de coliformes termotolerantes nos tratamentos aplicados.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) para a água de abastecimento ($3,64 \text{ mg L}^{-1}$) se enquadra no limite de até 3 mg L^{-1} para irrigação de hortaliças consumidas cruas utilizando água doce de Classe 1 (CONAMA, 2005).

A demanda química de oxigênio (DQO) presente tanto na água de abastecimento quanto na água de reúso tratada aponta que existe grande quantidade de matéria orgânica de difícil biodegradação em ambas as águas. Por isso, a diferença entre a DBO e DQO é maior que 100%. A existência de matéria orgânica não degradada é fator preponderante para determinar a quantidade de micro-organismos existentes no solo. A matéria orgânica já decomposta ou humificada é muito estável e pouco sujeita aos micro-organismos (RAIJ, 2011).

O nitrogênio inorgânico total presente nas águas utilizadas (água de reúso e abastecimento) não apresentou valores suficientes para suprir a necessidade da cultura e necessitou de compensação via fertirrigação. Diversos autores, como Hespanhol (2003), Bertoncini (2008) e Telles & Costa (2010), afirmaram que um dos benefícios de aplicar água de reúso tratada em ambiente agrícola é a possibilidade de diminuir os custos com fertilizantes, uma vez que a água residuária contém alta concentração de nitrogênio.

Existem ressalvas para considerar que a água de reúso irá suprir a necessidade de aplicação de fertilizantes. A concentração de nutrientes na água de reúso relaciona-se com a sazonalidade e a fonte da mesma, como efluente doméstico, industrial, de piscicultura, suinocultura, lavagem de mandioca, entre outros.

Particularmente, o efluente da suinocultura apresenta até 1942 mg L⁻¹ de nitrogênio total (BAUMGARTNER et al. 2007), enquanto que no efluente tratado utilizado nesse experimento há apenas 25 mg L⁻¹ de nitrogênio inorgânico total (Tabela 12). A econômica na aplicação de fertilizantes nitrogenados que o reúso de efluente doméstico pode proporcionar é pequena quando comparada ao efluente da suinocultura, por exemplo.

Cada água de reúso possui uma característica particular e deve ser analisada isoladamente quanto ao potencial de suprir a necessidade de fertilizantes de determinada cultura.

5.2.2 Características microbiológicas da alface e do solo

A preocupação com a contaminação por micro-organismos patogênicos devido à aplicação de água de reúso na irrigação de hortaliças é justificada pela segurança sanitária que esse alimento deve ter para a saúde pública.

Como um indicativo de recomendar o uso de água residuária na irrigação de culturas consumidas cruas, os padrões sanitários das alfaces produzidas com água de reúso foram comparados com as alfaces adquiridas no comércio da região.

As plantas de alface produzidas no experimento apresentaram contaminação por coliformes totais em ambos os tratamentos, na ordem de 3x10³ UFC g⁻¹ em média, enquanto que a presença de *E. coli* não foi detectada em nenhuma das amostras analisadas.

Nas amostras de alface adquiridas no comércio local não havia presença de *E. coli*, porém houve contaminação por coliformes totais. A amostra adquirida no EC1 apresentou 6,3x10³ UFC g⁻¹ de coliformes totais, o EC2 apresentou 17x10³ UFC g⁻¹ e o EC3 apresentou 1,3x10³ UFC g⁻¹.

Para determinar a segurança alimentar das alfaces quanto à presença de patógenos seguiu-se a RDC n.12 (ANVISA, 2001), a qual permite até 10² UFC g⁻¹ para coliformes a 45°C, ou seja, coliformes termotolerantes. As alfaces produzidas e as comercializadas apresentaram-se dentro dos padrões recomendados.

Apesar de não haver na legislação citada padrões de segurança para a presença de coliformes totais, é possível destacar que a contaminação encontrada tanto nas alfaces comercializadas quanto nas produzidas neste experimento é alta, o que pode ser atribuído à

qualidade da água de irrigação utilizada. Para ambos os tratamentos (reúso e abastecimento), a contaminação por coliformes totais foi de 10^5 NMP 100 mL⁻¹.

Em comparação com amostras comercializadas Varallo et al. (2011) também encontraram altos valores para coliformes totais ($> 1,1 \times 10^3$ NMP 100 mL⁻¹) nas amostras comercializadas, enquanto as amostras produzidas apresentaram entre 15 a >1100 NMP 100 mL⁻¹. Os autores atribuem esses valores à falta de higiene durante o processo de manipulação e transporte nas amostras comercializadas. Para as alfaces produzidas, a qualidade da água de irrigação apresentou 9×10^4 NMP 100 mL⁻¹ de coliformes totais.

Avaliando as condições dos locais de produção (fonte de água utilizada, presença de sanitários para os trabalhadores, despejo de lixo e outros dejetos, entre outros) de hortaliças em Salvador/BA, Santos et al. (2010) encontraram contaminação por coliformes termotolerantes em todas as amostras de alface analisadas, de até $1,5 \times 10^3$ NMP 100 mL⁻¹.

Para avaliar a qualidade da água de irrigação utilizada no cultivo das hortaliças, Santos et al. (2010) coletaram amostras de água de poço, lagoas, córregos e sistema público de abastecimento. Dos cinco pontos de coleta amostrados, em quatro houve presença de coliformes termotolerantes na ordem de $> 1,6 \times 10^3$ NMP 100 mL⁻¹.

Considerando esses valores altos de contaminação e levando em conta que o consumidor final de hortaliças nem sempre realiza corretamente a lavagem do produto antes de seu consumo, este fica passível de adquirir uma doença devido à presença de patógenos de origem fecal em seu alimento. Porém, como foi possível observar, a contaminação de alface por coliformes totais não ocorre exclusivamente nas plantas cultivadas com água de reúso, uma vez que as vias de contaminação extrapolam a qualidade da água de irrigação e podem ocorrer durante o manuseio, pré- lavagem, embalagem e transporte do alimento.

De acordo com a análise de variância aplicada às médias de coliformes totais nas folhas de alface entre os tratamentos e entre os ciclos cultivados, não há diferença significativa ao nível de 5% de significância (Tabela 13).

Tabela 13 – Teste de Tukey a 5% para comparação das médias dos padrões microbiológicos da alface produzida e micro-organismos do solo para os dois tratamentos e a interação entre os dois ciclos cultivados.

Tratamentos	Coliformes totais alfaces	Coliformes totais solo	Heterotróficos no solo
	(UFC g ⁻¹)		
Ciclo 1 reúso	3.250 a	875 a	39.000 a
Ciclo 1 abastecimento	3.000 a	375 a	14.000 a
DMS	9.755,77	2.154,69	55.571,86
CV %	138,72	153,19	93,18
Ciclo 2 reúso	68.583 a	17.333 a	404.416 a
Ciclo 2 abastecimento	52.166 a	31.416 a	260.583 a
DMS	240.644,52	60.134,74	386.125,58
CV %	177,12	109,62	51,60
Ciclo 1 x Ciclo 2 reúso	35.916 a	9.104 a	221.708 a
Ciclo 1 x Ciclo 2 abastecimento	27.583 a	15.895 a	137.291 a
DMS	147.515,64	126.610,68	1.311.647,02
CV %	73,13	159,43	115,02

Médias seguidas pela mesma letra indicam que, não há diferença ao nível de 5% de probabilidade

Legenda: DMS – diferença mínima significativa; CV% - coeficiente de variação

Em experimento que avaliou a contaminação do solo e plantas de alface cultivadas com água de diversas fontes, Lima et al. (2005) observaram que para o tratamento utilizando efluente de lagoa de polimento (precedida por caixa de areia, tanque equalizador, decantador e reator UASB), a presença de coliformes totais no solo (3680 NMP 100g⁻¹) e particularmente nas alfaces (734 NMP 100g⁻¹) não se enquadraram nos limites adequados para consumo humano. Porém, os valores são bem inferiores comparados aos obtidos neste estudo. Essa diferença pode ser explicada devido à concentração de coliformes totais na água de irrigação, que é de 47 UFC 100mL⁻¹, enquanto a água de reúso utilizada neste experimento possui < 10⁵ UFC 100mL⁻¹.

Não houve diferença significativa para os coliformes totais do solo entre os ciclos e entre os tratamentos aplicados. A contagem de bactérias heterotróficas no solo também não apresentou diferença significativa entre os dois ciclos cultivados e os tratamentos (Tabela 13).

O aumento de bactérias heterotróficas no solo de um ciclo para outro pode ter sido devido às condições favoráveis que o solo proporcionou como o aumento e disponibilidade de matéria orgânica, a qual é utilizada por esses micro-organismos para obter carbono e energia.

Apesar da alta temperatura durante os dois ciclos cultivados (Figuras 8 e 9), a área foliar das plantas de alface propiciou um sombreamento no solo que pode ter proporcionado condições de desenvolvimento aos coliformes e heterotróficos no solo.

5.2.3 Características da alface produzida

Para avaliar as características da alface produzida foi utilizada a massa fresca (kg planta⁻¹) e a análise química do tecido vegetal, a qual teve seu valor comparado com as determinações do Boletim 100 (RAIJ et al., 1997). As médias da massa fresca e tecido vegetal das alfaces foram comparadas aplicando-se o Teste de Tukey a 5% de probabilidade (Tabelas 14, 15 e 16).

Tabela 14 – Teste de Tukey a 5% para comparação das médias de massa fresca das alfaces produzidas comparando as médias dos tratamentos e da interação entre os ciclos.

Tratamentos	Massa fresca (kg planta⁻¹)
Ciclo 1 reúso	0,26 a
Ciclo 1 abastecimento	0,18 b
DMS	0,08
CV %	16,40
Ciclo 2 reúso	0,17 a
Ciclo 2 abastecimento	0,08 b
DMS	0,08
CV %	29,14
Ciclo 1 x Ciclo 2 reúso	0,21 a
Ciclo 1 x Ciclo 2 abastecimento	0,13 a
DMS	1,07
CV %	97,14

Médias seguidas pela mesma letra indicam que, não há diferença ao nível de 5% de probabilidade
 Legenda: DMS – diferença mínima significativa; CV% - coeficiente de variação

No teste de comparação de médias é possível identificar que a massa fresca das alfaces irrigadas com água de reúso é significativamente maior que a massa fresca das alfaces irrigadas com água de abastecimento, chegando a 48% no primeiro ciclo e 100% maiores no segundo ciclo. A análise conjunta dos experimentos indica que não há diferença significativa entre os ciclos cultivados nos dois tratamentos aplicados (Tabela 14).

A temperatura interna na casa de vegetação no segundo ciclo de cultivo indicou dias mais quentes (Figuras 8 e 9), aumentando a lâmina de irrigação necessária às plantas, totalizando 193,9 mm no primeiro ciclo e 212,24 mm no segundo. Durante o cultivo do segundo ciclo, houve um erro na programação do painel de irrigação e as plantas não receberam a lâmina d'água adequada durante dois dias, causando estresse e a murcha das plantas, o que pode ter prejudicado o desenvolvimento das mesmas e conseqüentemente a menor massa (Figura 14).



Figura 14 - Alfaces cultivadas com água de reúso tratada no primeiro (A) e segundo ciclo (B) aos 38 dias após o transplântio.

Após cultivo da alface “Elisa” utilizando gotejamento superficial com água de reúso proveniente de esgoto doméstico, Sandri et al. (2007) obtiveram produtividade aproximadamente 30% maior em relação às plantas cultivadas com água do depósito. Em contrapartida, Lima et al. (2005) obtiveram $0,94 \text{ kg ha}^{-1}$ de alface para o tratamento com água de poço e adubação, enquanto para o tratamento com efluente de esgoto doméstico tratado em lagoa de polimento, a produtividade foi de $0,92 \text{ kg ha}^{-1}$ não apresentando diferença entre os tratamentos que possa ser atribuída à aplicação de água de reúso.

Para outras culturas, o maior rendimento nos cultivos que receberam água de reúso em relação à testemunha também ocorre. Costa et al. (2010) cultivaram timbaúba com cinco diferentes tratamentos (T) misturando água de reúso (AR) e água de abastecimento (AB) em diferentes proporções: T1: 100% AR; T2: 75%AR + 25% AB; T3: 50% AR + 50% AB; T4: 25% AR + 75% AB; T5: 100% AB. O tratamento com 100% de água de reúso foi o que se destacou com os melhores resultados para matéria fresca e seca da raiz (g), número de folha e tamanho das raízes (cm) em relação aos demais.

Apesar dos estudos apontarem maior produção das culturas quando irrigadas com água de reúso, cabe frisar que a mesma não substitui a aplicação de fertilizantes nitrogenados, apenas fornece parte da necessidade de nitrogênio, conforme destacado por Damasceno et al. (2010) na produção de gérbera e Souza et al. (2010) na produção de mamona.

Em ambos os estudos citados, a água residuária supriu parcialmente a necessidade do uso de fertilizantes, e quando aplicada sozinha a produção não alcançou níveis desejáveis comparados ao cultivo com adubação.

O intuito de realizar a análise química de tecido vegetal foi observar se de acordo com os resultados obtidos para a massa fresca das alfaces entre os tratamentos, a água de reúso utilizada tenha proporcionado aumento de nutrientes nas plantas devido à maior concentração dos mesmos contidos nessa água em relação à água de abastecimento.

A concentração de nutrientes nas plantas de alface, não apresentou diferença significativa quando comparados os tratamentos (Tabela 15 e 16), por isso não é possível atribuir à água residuária o aporte de nutrientes nas plantas. Da mesma forma, não há diferença significativa entre os dois ciclos cultivados, o que indica que o aporte de nutrientes no solo no decorrer dos ciclos não influenciou na absorção dos mesmos pela planta.

Tabela 15 – Teores médios dos macronutrientes das folhas de alface para os dois tratamentos e a interação entre os ciclos cultivados.

Tratamentos	N	P	K	Ca	Mg	S
	(g kg ⁻¹)					
Ciclo 1 reúso	43,50 a	5,53 a	54,40 a	5,84 a	2,93 a	2,93 a
Ciclo 1 abastecimento	43,13 a	4,48 a	56,10 a	7,01 a	2,95 a	2,95 a
DMS	7,39	2,11	16,10	1,43	0,99	0,99
CV %	7,58	18,71	12,95	9,88	15,02	15,02
Ciclo 2 reúso	42,88 a	5,50 a	40,33 a	9,85 a	2,27 a	3,38 a
Ciclo 2 abastecimento	39,50 a	4,58 a	41,10 a	12,41 a	2,51 a	3,75 a
DMS	9,29	1,04	13,45	1,93	0,32	0,27
CV %	10,02	9,20	14,68	7,70	5,96	3,39
Ciclo 1 x Ciclo 2 reúso	43,19 a	5,51 a	47,36 a	7,84 a	2,60 a	3,15 a
Ciclo 1 x Ciclo 2 abastecimento	41,31 a	4,53 a	48,60 a	9,71 a	2,73 a	3,35 a
DMS	30,51	12,57	16,79	25,32	2,19	3,38
CV %	11,37	39,43	5,51	45,42	12,95	16,35

Médias seguidas pela mesma letra indicam que, não há diferença ao nível de 5% de probabilidade

Legenda: DMS – diferença mínima significativa; CV% - coeficiente de variação

No Boletim 100 (RAIJ et al., 1997), são disponibilizadas as faixas de teores adequados de macro e micronutrientes nas hortaliças. Essas faixas servem como subsídio para identificação de problemas nutricionais e corrigi-los em tempo para a colheita. Para culturas de ciclo curto, como a alface, é possível corrigir os problemas nutricionais apenas para o próximo ciclo a ser cultivado.

Em relação às alfaces cultivadas, recomenda-se que a amostragem das folhas seja realizada aos 2/3 do período do ciclo. A desvantagem desse método é que não há tempo hábil de corrigir o problema para a colheita das plantas.

De acordo com as faixas de teores adequados para macronutrientes nas folhas de alface para N (30-50 g kg⁻¹), P (4-7 g kg⁻¹), K (50-80 g kg⁻¹), Ca (15-25 g kg⁻¹), Mg (4-6 g kg⁻¹) e S (1,5-2,5 g kg⁻¹) descritas no Boletim 100 (RAIJ et al., 1997), os teores apresentados nas folhas de alface estão adequados para o nitrogênio e fósforo em ambos os ciclos e para o potássio no primeiro ciclo cultivado (Tabela 15).

A concentração de enxofre nas folhas (Tabela 15) está acima do adequado em ambos os tratamentos, provavelmente devido à sua concentração média no solo estar em 385 mg dm⁻³ no primeiro ciclo e 550 mg dm⁻³ no segundo ciclo (Tabela 17).

Para os teores de cálcio e magnésio em ambos os ciclos e para o potássio no segundo ciclo cultivado, observa-se um déficit na quantidade desses nutrientes. Apesar de a adubação ter sido aplicada corretamente, a disponibilidade desses nutrientes para a planta não foi satisfatória. Isso pode ocorrer quando há falta de calagem, diminuição do pH do solo e decomposição da matéria orgânica.

Quanto aos micronutrientes presentes nas folhas de alface (Tabela 16), os valores recomendados para B (30-60 mg kg⁻¹), Cu (7-20 mg kg⁻¹), Fe (50-150 mg kg⁻¹), Mn (30-150 mg kg⁻¹) e Zn (30-100 mg kg⁻¹) indicaram deficiência de boro e zinco na nutrição das alfaces produzidas em ambos os tratamentos e ciclos de cultivo.

Em relação ao cobre e manganês os valores estão dentro do adequado e apenas o ferro está acima dos valores (Tabela 16).

Tabela 16 - Teste de Tukey a 5% para comparação das médias dos micronutrientes das folhas de alface para os dois tratamentos e a interação entre os ciclos cultivados.

Tratamentos	B	Cu	Fe	Mn	Zn
	(mg kg ⁻¹)				
Ciclo 1 reúso	17,50 a	9,00 a	431,25 a	75,00 a	13,75 a
Ciclo 1 abastecimento	19,75 a	12,00 a	510,75 a	101,25 a	9,50 a
DMS	14,66	5,51	207,12	52,93	12,56
CV %	34,99	23,33	19,54	26,69	47,99
Ciclo 2 reúso	23,25 a	9,00 a	414,00 a	69,00 a	9,25 a
Ciclo 2 abastecimento	20,50 a	12,00 a	586,50 a	81,25 a	7,25 a
DMS	22,96	18,60	558,69	13,02	2,25
CV %	46,65	70,35	49,63	7,70	12,12
Ciclo 1 x Ciclo 2 reúso	20,38 a	10,38 a	422,63 a	72,00 a	11,50 a
Ciclo 1 x Ciclo 2 abastecimento	20,13 a	11,88 a	548,63 a	91,25 a	8,38 a
DMS	31,92	26,95	1.706,50	260,26	42,20
CV %	24,81	38,14	55,31	50,19	66,84

Médias seguidas pela mesma letra indicam que, não há diferença ao nível de 5% de probabilidade

5.2.4 Características químicas do solo para fins de fertilidade

As análises de solo na casa de vegetação foram realizadas em três momentos: antes do transplântio das mudas para correção do solo (análise inicial), após a colheita do primeiro ciclo e após a colheita do segundo ciclo (Tabela 17). Os resultados foram comparados com a recomendação do Boletim 100 (RAIJ et al., 1997).

Os valores de fósforo apresentados nas análises de solo estão entre 28-48 mg dm⁻³ nos três períodos analisados (Tabela 17), enquanto os valores de potássio, compreendidos entre 2,3-3,2 mmol_c dm⁻³, se encontram presentes em concentração média no solo, garantindo uma produção para hortaliças entre 90 e 100% (RAIJ et al., 1997).

O cálcio, magnésio e enxofre estão em concentração alta em todos os períodos amostrados. O enxofre no início do experimento, apresentou teor de 11 mg dm⁻³, aumentando para 360 mg dm⁻³ no tratamento com água de abastecimento e 410 mg dm⁻³ para o tratamento com água de reúso tratada no primeiro ciclo. No segundo ciclo cultivado, esses valores aumentaram para 600 mg dm⁻³ nas parcelas que receberam água de abastecimento e 500 mg dm⁻³ nas parcelas que receberam água de reúso (Tabela 17).

O aumento de enxofre no solo ocorreu após a aplicação de superfosfato simples e sulfato de amônio na adubação de cobertura, a qual foi realizada nos dois ciclos de alface. O superfosfato simples contém aproximadamente 11% de enxofre em sua fórmula e o sulfato de amônio 24% de enxofre, proporcionando o aporte desse nutriente no solo.

Os micronutrientes cobre, ferro, manganês e zinco estão presentes no solo em concentração alta e o boro em concentração média. O pH, em todos os períodos analisados apresentou baixa acidez e a saturação por bases próxima da faixa ideal para hortaliças de 80% (Tabela 17).

A porcentagem de sódio trocável no solo (Tabela 12) foi de 6,44% para os canteiros cultivados com água de reúso tratada e 3,22% para as parcelas que receberam água de abastecimento. Não houve saturação do solo pelo íon sódio.

Tabela 17 – Análise química para fins de fertilidade do solo realizada antes do transplântio e após a colheita nos dois ciclos cultivados.

Período das análises	Tratamento	P Resina (mg dm ⁻³)	M.O. (g dm ⁻³)	pH	K	Ca	Mg	H+Al (mmol _c dm ⁻³)	Al	SB	CTC	Na	V (%)	S	B	Cu	Fe	Mn	Zn
Análise inicial	Sem aplicação	30	48	5,6	2,3	35	8	22	0,5	45,4	67,4	*	67	11	0,64	1,8	18	14,1	0,9
Término ciclo 1	Abastecimento	48	19	5,7	3,2	67	16	26	0,4	85,8	111,8	2,74	77	360	0,42	1,2	24	11,4	1,8
	Reúso	46	19	5,5	3	63	15	28	0,5	80,9	108,9	5,13	74	410	0,32	1,1	23	12,4	1,9
Término ciclo 2	Abastecimento	30	27	5,7	2,3	76	18	26	0,3	96,3	122,3	3,26	79	600	0,23	2,1	40	27,8	3,2
	Reúso	28	25	5,5	3,0	76	18	29	0,4	96,7	125,7	6,78	77	500	0,27	2,1	36	24,7	2,4

* Análise não realizada

Apesar do aporte de nutrientes no solo durante os dois ciclos cultivados (Tabela 17), as plantas de alface não apresentaram sintomas visuais que pudessem ser atribuídos ao excesso de nutriente, (Figura 15) fitotoxicidade e interferindo no crescimento das plantas.



Figura 15 - Disposição das parcelas na casa de vegetação aos 36 dias após o transplântio.

5.2.5 Características físicas do solo

Quando a proporção de sódio em relação aos demais cátions no solo ocorre de forma desequilibrada, pode ocorrer a dispersão das partículas de argila, causando a desestrutura do solo e até a impermeabilização (ALMEIDA, 2010; MEURER, 2010; VARALLO et al., 2012).

A granulometria do solo ao iniciar o experimento apresentava 53% de argila, 19% de areia grossa e fina, totalizando 38% de areia e 9% de silte. Após o término do cultivo de cada um dos dois ciclos de alface, amostras de solo foram coletadas e analisadas para identificar possíveis alterações devido à aplicação de água residuária. Os dados e as médias comparadas no Teste de Tukey a 5% estão detalhados na Tabela 18.

A análise de variância não indicou diferença significativa entre as médias dos tratamentos para a fração de argila do solo (Tabela 18) e para os dois ciclos de cultivo também não houve diferença significativa entre ambos. Porém, é possível observar decréscimo nas médias de argila e silte entre os ciclos um e dois, indicando que ao longo de diversos ciclos de cultivo a dispersão de argila pode se intensificar e causar prejuízos ao solo. Com dois ciclos de cultivos não foi possível observar diferença significativa na granulometria do solo.

Tabela 18 – Comparação dos valores médios de granulometria do solo após cultivo dos dois ciclos de alface.

Tratamentos	Argila	Areia grossa	Areia fina	Areia total	Silte
Ciclo 1 reúso	43,25 a	22,00 a	17,75 a	39,75 a	17,00 b
Ciclo 1 abastecimento	43,50 a	20,50 a	18,50 a	39,00 a	17,50 b
DMS	4,57	7,63	4,19	3,53	2,76
CV%	4,68	15,96	10,26	3,98	7,10
Ciclo 2 reúso	36,25 a	20,50 a	20,50 a	41,00 a	22,75 a
Ciclo 2 abastecimento	37,75 a	20,75 a	20,75 a	41,50 a	20,75 a
DMS	3,05	4,57	2,72	3,05	1,84
CV%	3,66	9,85	5,86	3,28	3,75
Ciclo 1 x Ciclo 2 reúso	39,75 a	21,25 a	19,13 a	40,38 a	19,88 a
Ciclo 1 x Ciclo 2 abastecimento	40,63 a	20,63 a	19,63 a	40,25 a	19,13 a
DMS	13,66	13,66	7,10	8,10	18,52
CV%	5,35	10,27	5,77	3,16	14,95

Médias seguidas pela mesma letra indicam que, não há diferença ao nível de 5% de probabilidade

A condutividade hidráulica saturada do solo (k_{sat}) não apresentou diferença estatística entre as parcelas irrigadas com água de reúso e água de abastecimento, bem como não há diferença significativa entre os dois ciclos de cultivo a 5% de probabilidade (Tabela 19). A água de reúso não acarretou diminuição da condutividade hidráulica saturada do solo nos dois ciclos cultivados.

Tabela 19 – Comparação de médias para os parâmetros densidade e condutividade hidráulica saturada do solo para os dois ciclos de alface cultivados.

Tratamentos	Densidade (g cm^{-3})	k_{sat} (cm min^{-1})
Ciclo 1 reúso	1,28 a	0,51 a
Ciclo 1 abastecimento	1,30 a	0,52 a
DMS	0,20	0,96
CV%	6,85	82,09
Ciclo 2 reúso	1,10 a	0,78 a
Ciclo 2 abastecimento	1,06 a	0,39 a
DMS	0,21	0,64
CV%	8,53	1,45
Ciclo 1 x Ciclo 2 reúso	1,19 a	0,64 a
Ciclo 1 x Ciclo 2 abastecimento	1,18 a	0,46 a
DMS	0,39	3,47
CV%	5,21	99,21

Médias seguidas pela mesma letra indicam que, não há diferença ao nível de 5% de probabilidade

Apesar de a água de reúso e de abastecimento indicarem presença de matéria orgânica inerte devido aos altos valores de DQO em relação à DBO (Tabela 12), não houve obstrução dos poros do solo que pudesse diminuir a k_{sat} significativamente.

A k_{sat} das parcelas irrigadas com água de reúso nos ciclos um e dois e as parcelas irrigadas com água de abastecimento no ciclo um, são classificadas como de k_{sat} muito rápida ($>0,41$ cm min^{-1}), enquanto as parcelas que receberam água de abastecimento no segundo ciclo são de k_{sat} rápida ($0,2 - 0,41$ cm min^{-1}), segundo a classificação proposta por Bernardo et al. (2006).

5.3 Resumo dos resultados

5.3.1 Laboratório

- ✓ A água de reúso utilizada apresentou restrição de aplicação no solo de ligeira a moderada quanto ao risco de salinidade;
- ✓ As amostras de solo após aplicação de água de reúso apresentaram aumento da porcentagem de sódio trocável, dos teores de fósforo e sódio;
- ✓ A granulometria e condutividade hidráulica saturada do solo não apresentaram diferença após aplicação de lâmina de irrigação correspondente a cinco ciclos de cultivo;
- ✓ A turbidez da água lixiviada não apresentou diferença significativa entre os tratamentos (água destilada e água de reúso tratada) e lâminas de irrigação aplicadas;
- ✓ Os resultados mostraram que os teores de Ca, Mg, K e pH no solo apresentaram concentração próxima ao grupo controle após a aplicação de lâmina de irrigação correspondente a cinco ciclos de cultivo de alface com água de reúso;
- ✓ A RAS não apresentou diferença significativa entre as lâminas aplicadas;

5.3.2 Casa de vegetação

- ✓ Tanto a água de abastecimento quanto a água de reúso utilizadas na irrigação das alfaces apresentaram restrição severa de aplicação no solo quanto ao risco de salinidade;
- ✓ A concentração de coliformes totais na água de reúso e água de abastecimento que foram utilizadas na irrigação das alfaces não é recomendada para irrigação de hortaliças;
- ✓ Não foi detectada *Escherichia coli* nas alfaces produzidas;
- ✓ A análise química do tecido vegetal não indicou diferença significativa entre a água de reúso tratada e a água de abastecimento na absorção de nutrientes pela planta, porém, a produção (kg planta^{-1}) das alfaces irrigadas com água de reúso foi 48% maior que a produção das alfaces irrigadas com água de abastecimento no primeiro ciclo e 100% maior no segundo;

- ✓ Não houve diferença significativa nas propriedades físicas do solo (granulometria, densidade, condutividade hidráulica saturada) entre os tratamentos aplicados (água de reúso e água de abastecimento);
- ✓ A aplicação de água de reúso tratada no solo proporcionou o aporte de Zn, Mn, Fe, Cu, Na, Mg e Ca no solo;
- ✓ O aporte de enxofre que ocorreu durante o cultivo de alface está relacionado à aplicação de superfosfato simples e sulfato de amônio no solo.

6. CONCLUSÕES

Nas condições experimentais em que esse estudo foi conduzido, foi possível concluir que:

- a) a aplicação de lâmina de água de reúso correspondente a cinco ciclos de cultivo no solo não alterou as propriedades físicas do solo;
- b) e proporcionou aumento da PST e teores de fósforo e sódio no solo;
- c) a concentração de coliformes totais nas alfaces apresentou risco de contaminação ao consumidor final apesar da presença de *E. coli*. não ter sido detectada;
- d) a produção das alfaces cultivadas com água de reúso foi 48% e 100% maior no primeiro e segundo ciclo respectivamente;
- e) não houve diferença significativa entre os tratamentos para a densidade, granulometria e condutividade hidráulica saturada do solo após o cultivo de alface;
- f) a irrigação com água de reúso proporcionou o aporte de nutrientes no solo;
- g) a RAS indicou restrição de aplicação no solo e risco de salinização a longo prazo;
- h) o aporte de coliformes totais e heterotróficos no solo não apresentou diferença significativa entre os tratamentos.

7. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

A continuação de pesquisas científicas é pertinente e fornece subsídio das diversas alterações que podem ocorrer no solo e da resposta de cada cultura quando cultivada com água de reúso. Dessa forma encorajo que as pesquisas nesse âmbito da ciência sejam intensificadas e avaliem em longo período de tempo as alterações e benefícios proporcionados pela adoção do reúso.

- Devido à alta concentração de coliformes totais na água de reúso tratada, é sugerido instalar um sistema terciário complementar ao tratamento já realizado na planta da estação de tratamento de esgoto instalada no *campus* da UFSCar. Esse sistema pode ser simples, como a instalação de um clorador. Essa providência pode assegurar que a qualidade sanitária da água utilizada melhore, enquadrando-a nas recomendações de qualidade para irrigação.

- Estudar maior número de ciclos de cultivo de alface irrigados com água de reúso, possibilitando a identificação ao longo do tempo do nível de deterioração do solo e a partir deste, determinar quais cuidados podem ser tomados para evitar a perda da qualidade deste, como por exemplo, a aplicação de água de reúso tratada combinada à água de abastecimento, de forma a diluir os sais presentes e diminuir o risco de salinização.

- Recomenda-se também, avaliar as características químicas, físicas e microbiológicas do solo adotando a rotatividade de culturas, assegurando que os nutrientes adicionados ao solo na fertirrigação com água de reúso, sejam igualmente absorvidos entre os cultivos, diminuindo o risco de salinização, danos à estrutura do solo e aumento de micro-organismos no solo que podem contaminar a planta cultivada.

- Além disso, a característica fisiológica de cada cultura e a produtividade da mesma quando cultivada com água de reúso de diferentes fontes, são objetos de estudo que podem enriquecer as pesquisas científicas. Por exemplo: quais as formas de cultivo (convencional ou hidroponia) mais indicadas ao reúso?; Quais plantas possuem maior produtividade atrelada à segurança sanitária para posterior consumo?; O método de irrigação mais indicado?; entre outras vertentes.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Projeto Reúso**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/projetos/Reúso.aspx>> Acesso em 24 mai. 2012.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Resolução RDC nº 12, de 02 de janeiro de 2001. **Diário Oficial da União, Ministério da Saúde**. Brasília, seção 1, p.45-53, 2001.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura, 2010. 1. ed. ISBN 978-85-7158-024-4. Disponível em: <http://www.cnpmf.embrapa.br/publicacoes/livro/livro_qualidade_agua.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2012.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20. ed. Washington, DC: APHA, 2000.

ASANO, T., MAEDA, M.; TAKAKI, M. Wastewater reclamation and reuse in Japan: overview and implementation examples. **Water Science and Technology**, v.34 p. 219-226, 1996.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 218 p. (Estudos da FAO: Irrigação e Drenagem, 29, Revisado 1).

AZEVEDO, L.P. **Avaliação da qualidade microbiológica e da produção de alface americana (*Lactuca sativa* L.) sob diferentes sistemas de irrigação, utilizando águas residuárias**. 2004. 68 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

BLANCO, M. C. S. G.; GROPPPO, G. A.; TESSARIOLI NETO, J. Alface (*Lactuca sativa* L.). In: **Manual técnico das culturas: medicinais, olerícolas e ornamentais**. 2. ed. Campinas: CATI, 1997. v.2. p.13-19.

BAUMGARTNER, D.; SAMPAIO, S. C.; SILVA, T. R. da; TEO, C. R. P. A.; VILAS BOAS, M. A. Reúso de águas residuárias da piscicultura e da suinocultura na irrigação da cultura da alface. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 27, n.1, p. 152-163, 2007.

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

BERTONCINI, E. I. Tratamento de efluentes e reúso da água no meio agrícola. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, v. 1, p. 152-169, 2008. Disponível em: <http://www.dge.apta.sp.gov.br/publicacoes/t%26ia/T&IAv1n1/Revista_Apta_Artigo_118.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2013.

BONINI, M. A.; SOUZA, C.F.; SATO, L. M.; BASTOS, R.G. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho Argiloso irrigado com água de reúso e vinhaça. In: CONGRESSO IBÉRICO DE AGRO-ENGENHARIA, VI, 2011, Évora. **Anais...** Évora. CD-ROM, 2011.

BRASIL. Lei 9.433 de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o

inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Presidente Fernando Henrique Cardoso. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 09 de Janeiro 1997.

BRASIL. Portaria MS 2.914 de 12 de Dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 14 de Dezembro 2011.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. **Conceito de reúso de água**. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. cap. 2, p. 21-36. ISBN 85-204-1450-8.

CAMERON, K.C.; DI, H.J.; McLAREN, R.G. Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v.35, p.995-1035, 1997.

CAVINATTO, A. de S.; PAGANINI, W.S. Os micro-organismos nas atividades de disposição de esgotos no solo – estudo de caso. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro v.12, n.1, jan/mar.2007. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522007000100006>>. Acesso em: 24 mai. 2012.

CARNEIRO, L. J.; DIETER, J.; SAMPAIO, S. C.; SCHMIDT JUNIOR, N.; SANTOS-KOELLN, F. T. Balanço de sais provenientes da aplicação de água residuária de suinocultura em quatro ciclos de cultura. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, v.4, n.3, p.481-499, set/dez. 2011. ISSN 1981-9951.

CIRELLI, G.L.; CONSOLI, S.; LICCIARDELLO, F.; AIELLO, R.; GIUFFRIDA, F.; LEONARDI, C. Treated municipal wastewater reuse in vegetable production. **Agricultural Water Management**, v. 104, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378377411003350#>>. Acesso em: 28 dez 2012.

CHAGAS, W. F. **Estudo de patógenos e metais em lodo digerido bruto e higienizado para fins agrícolas, das estações de tratamento de esgotos da Ilha do Governador e da penha no Estado do Rio de Janeiro**. 2000. 89 f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2000.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Determinação da turbidez em águas – método nefelométrico: método de ensaio. **Norma Técnica L5. 156**, 1978. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/servicos/normas---cetesb/43-normas-tecnicas---cetesb>>. Acesso em: 28 mai. 2012.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Aplicação de sistemas de tratamento biológico em áreas agrícolas – critérios para projeto e operação: manual técnico. **Norma Técnica P4. 230**, 1999.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Decisão de Diretoria nº 388/2010/P. Aprova premissas e diretrizes para a aplicação de resíduos e

efluentes em solo agrícola no Estado de São Paulo. Disponível no **Diário Oficial do Estado de São Paulo**, São Paulo, 2010.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Resolução nº. 54, de 28 de Novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Presidente: Marina Silva. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 09 de Março de 2006.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº. 357, de 17 de Março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e, dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2005.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº. 375, de 29 de Agosto de 2006. Define critérios e procedimentos, para o uso agrícola de lodos de esgoto gerados em estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, 2006.

COSTA, M.S.; ALVES, S.M.C.; NETO, M.F.; BATISTA, R.O.; COSTA, L.L.B.; OLIVEIRA, W.M. Produção de mudas de timbaúba sob diferentes concentrações de efluente doméstico tratado. **Irriga**, edição especial, p. 408-422, 2012.

DAMASCENO, L.M.O.; ANDRADE Jr, A.S.; GHEYI, H.R.; RIBEIRO, V.Q.; DIAS, N.S. Cultivation of gerbera irrigated with treated domestic effluents. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, 2010.

DEON, M. D.; GOMES, T. M.; MELFI, A. J. MONTES, C. R.; SILVA, E.S. Produtividade e qualidade da cana-de-açúcar irrigada com efluente de estação de tratamento de esgoto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, vol.45, n.10, p. 1149-1156, 2010. ISSN 0100-204X. doi: 10.1590/S0100-204X2010001000014.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Latossolo. In: **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. p.161-175.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. Tipos de alface cultivados no Brasil. **Comunicado Técnico nº 75**, nov./2009. EMBRAPA Hortaliças. Brasília, DF. ISSN 1414-9850.

HESPANHOL, I.; PROST, A. WHO Guidelines and National Standards for Reuse and Water Quality, **Water Research**, London, v. 28, n. 1, p. 119-124, 1994.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7 n.4, p. 75-95, out/dez, 2002.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. cap. 3, p. 37-96. ISBN 85-204-1450-8.

JAVAREZ JR, A. RIBEIRO, T.A.P.; PAULA JR, D.R. Eficiência do reúso de águas residuárias na irrigação da cultura do milho. **Irriga**, Botucatu, v.15, n.3, 2010. Disponível em: <<http://irriga.fca.unesp.br/index.php/irriga/article/view/115/65>>. Acesso em: 28 dez 2012.

LIMA, S.M.S.; HENRIQUE, I.N.; CEBALLOS, B.S.O.; SOUZA, J.T.; ARAÚJO, H.W.C. Qualidade sanitária e produção de alface irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, suplemento, p.21-25, 2005.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. 3. ed. Viçosa: UFV, 2009. 355p. ISBN 978-85-7269-373-8.

MATTOS, L. M.; MORETTI, C. L.; MOURA, M. A.; MALDONADE, I. R.; SILVA, E. Y. Y. Produção segura e rastreabilidade de hortaliças. **Horticultura Brasileira**, v. 27, n. 4, p. 408-413, out.-dez./2009.

MEDEIROS, S. de S.; SOARES, A. A.; FERREIRA, P. A.; NEVES, J. C. L.; MATOS, A. T. de; SOUZA, J. A. A. de. Utilização de água residuária de origem doméstica na agricultura: estudo das alterações químicas do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, Dez. 2005. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662005000400026>>. Acesso em: 08 de fev. 2012.

MEHNERT, D.U. Reúso de efluente doméstico na agricultura e a contaminação ambiental por vírus entéricos humanos. **Biológico**, v.65, n.1/2, p.19-21, São Paulo, 2003.

MEURER, E. J. **Fundamentos de Química do Solo**. 4. ed. Porto Alegre: Evangraf, 2010. 266p. ISBN 85-7727-020.

MORETTI, C. L. MATTOS, L. M. Processamento mínimo de alface crespa. **Comunicado Técnico nº 36**, dez./2006. EMBRAPA Hortaliças. Brasília, DF. ISSN 1414-9850.

PAGANINI, W.S. Reúso de água na agricultura. In: MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. **Reúso de água**. Barueri: Manole, 2003. cap. 10, p. 339-402. ISBN 85-204-1450-8.

PAULINO, J.; FOLEGATTI, M. V.; ZOLIN, C. A.; SÁNCHEZ-ROMÁN, R. M.; JOSÉ, F. V. Situação da agricultura irrigada no Brasil de acordo com o censo agropecuário 2006. **Irriga**, Botucatu, v. 16, n. 2, p. 163-176, abr. /jun., 2011. ISSN 1808-3765.

PEDRERO, F.; ALLENDE, A.; GIL, M.I.; ALARCÓN, J.J. Soil chemical properties, leaf mineral status and crop production in a lemon tree orchard irrigated with two types of wastewater. **Agricultural Water Management**, v. 109, 2012. Disponível em: <<http://0-www.sciencedirect.com/precise.petronas.com.my/science/article/pii/S0378377412000613>>. Acesso em: 28 dez 2012.

PEREIRA, E. R. **Qualidade da água residuária em sistemas de produção e de tratamento de efluentes de suínos e seu reúso no ambiente agrícola**. 2006. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

PEREIRA, B.F.F.; HE, Z.L.; SILVA, M.S.; HERPIN, U.; NOGUEIRA, S.F.; MONTES, C.R.; MELFI, A.J. Reclaimed wastewater: Impact on soil-plant system under tropical

conditions. **Journal of Hazardous Materials**, v.192, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389411005334>>. Acesso em: 28 dez 2012.

POSTEL, S.; VICKERS, A. Incrementando a produtividade hídrica. In: WORLDWATCH INSTITUTE. **Estado do mundo 2004: estado do consumo e o consumo sustentável**. Salvador: Uma, 2004.

QADIR, M.; WICHELNS, D. RASCHID-SALLY, L.; McCORNICK, P.G., DRECHSEL, P.; BAHRI, A.; MINHAS, P.S. The challenges of wastewater irrigation in developing countries. **Agricultural Water Management**. v.97, n.4, p.561-568, Abr. 2010.

RAIJ, B. van; CANTARELLA, J.A.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico, 1997. 285 p. **Boletim Técnico n. 100**. ISSN 0100-3100.

RAIJ, B. van; **Fertilidade do solo e manejo de nutrientes**. Piracicaba: International Plant Nutrition Institute, 2011. 420 p. ISBN 978-85-98519-07-4.

REICHARDT, K.; TIMM, L.C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri, SP: Manole, 2004. 1ed. ISBN 85-204-1773-6.

RIBAS, T. B. C.; FORTES NETO, P. Disposição no solo de efluentes de esgoto tratado visando à redução de coliformes termotolerantes. **Revista Ambiente & Água – An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, v.3, n.3, 2008.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF R. Teores de nutrientes na alface irrigada com água residuária aplicada por sistemas de irrigação. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p.45-57, 2006.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF R. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 1, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a03.pdf>>. Acesso em: 28 dez. 2012.

SANTOS, Y.O.; ALMEIDA, R.C.C.; GUIMARÃES, A.G.; ALMEIDA, P.F. Hygienic-sanitary quality of vegetables and evaluation of treatments for the elimination of indigenous *E.coli* and *E. coli* O157:H7 from the surface of leaves of lettuce (*Lactuca sativa* L.). **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 30, n. 4, 2010.

SILVA, N. da; JUNQUEIRA, V. C. A.; SILVEIRA, N. F. A.; TANIWAKI, M. H.; SANTOS, R. F. S. dos; GOMES, R. A. R. **Manual de métodos de análise microbiológica de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2007. p. 119-135. ISBN 978-85-7759-003-2.

SINGH, P. K.; DESHBHRATAR, P. B.; RAMTEKE, D. S. Effects of sewage wastewater irrigation on soil properties, crop yield and environment. **Agricultural Water Management**, V.103, p. 100-104, jan. 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agwat.2011.10.022>.

SOUZA, N.S.; MOTA, S.B.; BEZERRA, F.M.L.; AQUINO, B.F.; SANTOS, A.B. Produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 5, 2010.

TELLES, D.D.; COSTA, R.H.P.G. **Reúso da água: conceitos, teorias e práticas**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010. 408 p. ISBN: 978-85-212-0536-4.

TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; CARRIJO, O. A. **Boletim Técnico nº 196**: Fertirrigação em Hortaliças. Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Campinas, v.2, p.51, 2011. ISSN 1809-7936.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Water recycling and reuse: the environmental benefits**. Region 9, 2012. 9 p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/region9/water/recycling/>>. Acesso em: 28 mar. 2012.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Guidelines for water reuse**. EPA/625/R-04/108. Set. de 2004. 450 p. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/smallsystems/pubs/625r04108.pdf>>. Acesso em: 28 mai. 2012.

VARALLO, A. C. T.; CARVALHO, L.; SANTORO, B. L.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos de um Latossolo Vermelho-amarelo irrigado com Água de reúso. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, 2010.

VARALLO, A. C. T.; SOUZA, J. M. de; REZENDE, S. S. R.; SOUZA, C. F. Avaliação da qualidade sanitária da alface (*Lactuca sativa*, L.) irrigada com água de reúso comparada com amostras comercializadas. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 6, n.2, p.295-304, 2011.

VARALLO, A. C. T.; SOUZA, C. F.; SANTORO, B. L. Mudanças nas características físico-químicas de um Latossolo vermelho-amarelo distrófico após a irrigação com água de reúso na cultura da alface crespa (*Lactuca sativa*, L.). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, V.32, n.2, p.271-279, mar./abr. 2012.

APÊNDICES

APÊNDICE A — Resumo da análise de variância delineamento fatorial 2 x 5 dos resultados obtidos em laboratório para a água lixiviada

Condutividade elétrica

Análise de variância

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	
Água	1	1,861176	1,861176	29,37928	**
Lâmina	4	0,103724	0,025931	0,409331	ns
Interação Água x lâmina	4	0,227887	0,056972	0,899319	ns
Tratamentos	9	2,192787	0,243643	3,845987	**
Resíduo	18	1,140299	0,06335		
Total	27	3,333086			

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

pH

Análise de variância

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	
Água	1	0,002083	0,002083	0,000488	ns
Lâmina	4	10,72335	2,680837	0,628423	ns
Interação Água x lâmina	4	11,38367	2,845917	0,66712	ns
Tratamentos	9	22,1091	2,456566	0,575851	ns
Resíduo	18	76,78753	4,265974		
Total	27	98,89663			

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Potássio

Análise de variância

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	
Água	1	702,768	702,768	12,67712	**
Lâmina	4	19,72333	4,930833	0,088947	ns
Interação Água x lâmina	4	21,12867	5,282167	0,095284	ns
Tratamentos	9	743,62	82,62444	1,490449	ns
Resíduo	18	997,8467	55,43593		
Total	27	1741,467			

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Cálcio

Análise de variância

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	
Água	1	264,0333	264,0333	1,482408	ns
Lâmina	4	1231,8	307,95	1,728977	ns
Interação Água x lâmina	4	848,4667	212,1167	1,190923	ns
Tratamentos	9	2344,3	260,4778	1,462445	ns
Resíduo	18	3206	178,1111		
Total	27	5550,3			

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Fósforo

Análise de variância

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	
Água	1	11,68128	11,68128	5,506478	*
Lâmina	4	4,263467	1,065867	0,502443	ns
Interação Água x lâmina	4	3,848853	0,962213	0,453581	ns
Tratamentos	9	19,7936	2,199289	1,03673	ns
Resíduo	18	38,18467	2,12137		
Total	27	57,97827			

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Condutividade hidráulica saturada

Análise de variância

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	
Água	1	0,000382	0,000382	0,102388	ns
Lâmina	4	0,011605	0,002901	0,77838	ns
Interação Água x lâmina	4	0,011826	0,002957	0,793208	ns
Tratamentos	9	0,023813	0,002646	0,70986	ns
Resíduo	18	0,067092	0,003727		
Total	27	0,090905			

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

RAS

Análise de variância

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	
Água	1	63,86043	63,86043	28,67769	**
Lâmina	4	2,794233	0,698558	0,3137	ns
Interação Água x lâmina	4	3,236287	0,809072	0,363328	ns
Tratamentos	9	69,89095	7,765661	3,487311	*
Resíduo	18	40,083	2,226833		
Total	27	109,974			

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Magnésio

Análise de variância

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	
Água	1	7,5	7,5	1,21988	ns
Lâmina	4	26,66667	6,66667	1,084337	ns
Interação Água x lâmina	4	30,66667	7,66667	1,246988	ns
Tratamentos	9	64,83333	7,203704	1,171687	ns
Resíduo	18	110,6667	6,148148		
Total	27	175,5			

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Sódio

Análise de variância

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	
Água	1	11556,18	11556,18	42,30342	**
Lâmina	4	230,1387	57,53467	0,210616	ns
Interação Água x lâmina	4	233,472	58,368	0,213666	ns
Tratamentos	9	12019,79	1335,532	4,88895	**
Resíduo	18	4917,127	273,1737		
Total	27	16936,92			

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

Turbidez

Análise de variância

Causas de variação	GL	SQ	QM	F	
Água	1	1,61472	1,61472	0,298932	ns
Lâmina	4	10,16159	2,540397	0,470302	ns
Interação Água x lâmina	4	7,627347	1,906837	0,353011	ns
Tratamentos	9	19,40365	2,155961	0,399132	ns
Resíduo	18	97,22933	5,40163		
Total	27	116,633			

Significância: ** 1%; * 5%, + 10%; ns: não significativo.

APÊNDICE B — Resumo da análise de variância delineamento inteiramente casualizado dos resultados obtidos no experimento em casa de vegetação

Análise de variância		QUADRADOS MÉDIOS		
Causas	GL	Coliformes totais na alface	Coliformes totais no solo	Heterotróficos no solo
Tratamentos	3	4549803 592,67*	884483 203,73*	139056717 148,17**
Resíduo	12	4561301 213,00	374222 300,98	17755794 657,46
Total	15			

Nível de significância: ** 1%; * 5%.

Análise de variância		QUADRADOS MÉDIOS											
Causas	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn	
Tratamentos	3	13,71	1,31	284,11	**	34,80	0,44	0,62	22,50	8,08	784,75	25 191,75	29,90
Resíduo	12	9,28	0,68	27,07		0,88	0,24	0,54	65,13	22,13	262,96	22 868,71	30,60
Total	15												

Nível de significância: ** 1%; * 5%.

Análise de variância		QUADRADOS MÉDIOS				
Causas	GL	k _{sat}	Densidade	Peso alfases		
Tratamentos	3	0,10	0,06	**	0,02	**
Resíduo	12	0,27	0,01		0,00	
Total	15					

Nível de significância: ** 1%; * 5%.

APÊNDICE C — Resumo da análise de variância delineamento inteiramente casualizado dos resultados obtidos no experimento em casa de vegetação comparando os dois ciclos cultivados

Análise de variância	QUADRADOS MÉDIOS			
Causas	GL	Coliformes totais na alface	Coliformes totais no solo	Heterotróficos no solo
Experimentos	1	13110250000	2256273750,06	374544000000
Trat. X Exper.	1	539160778	397175861,12	42626151444,5
Resíduo médio	6	5727289944,5	357453893,56	15023563370,41
Total	9			

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

Análise de variância	QUADRADOS MÉDIOS											
Causas	GL	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Mn	Fe	Zn
Experimentos	1	18,06	0,01	845,36	88,50	1,22	1,56	42,25	6,25	676,00	3422,25	45,56
Trat. X Exper.	1	23,06	3,92	6,98	15,88	0,12	0,28	25,25	18,00	1678,25	72153,00	44,13
Resíduo médio	6	83,44	0,54	43,43	0,57	0,11	0,10	73,29	37,17	293,29	35049,17	16,06
Total	9											

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.

Análise de variância	QUADRADOS MÉDIOS			
Causas	GL	k_{sat}	Densidade	Peso alfaces
Experimentos	1	0,02	0,18	0,03
Trat. X Exper.	1	0,30	0,00	0,03
Resíduo médio	6	0,30	0,01	0,00
Total	9		0,01	

Nível de significância: **: 1%; *: 5%.