

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA
E AMBIENTE

RENATA DA SILVA CUBA

Cultivo hidropônico de alface com água de reúso

Araras
2015

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

RENATA DA SILVA CUBA

Cultivo hidropônico de alface com água de reúso

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente (PPGAA), da Universidade Federal de São Carlos 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
2015

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

C962ch Cuba, Renata da Silva.
Cultivo hidropônico de alface com água de reúso / Renata da Silva Cuba. -- São Carlos : UFSCar, 2015.
70 f.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal de São Carlos, 2015.

1. Água - reutilização. 2. Alface. 3. Hidroponia. 4. Efluente. 5. Sustentabilidade. I. Título.

CDD: 628.162 (20ª)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

Centro de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente

Folha de Aprovação

Assinaturas dos membros da comissão examinadora que avaliou e aprovou a Defesa de Dissertação de Mestrado da candidata Renata da Silva Cuba, realizada em 06/02/2015:



Prof. Dr. Claudinei Fonseca Souza
UFSCar



Prof. Dr. Enio Farias de França e Silva
UFRPE



Prof. Dr. Fernando César Sala
UFSCar



Prof. Dr. Reinaldo Gaspar Bastos
UFSCar

À você meu Léo, que me ensina todos os dias
que apenas despertar já é o suficiente para
sorrir e ser feliz, dedico.

AGRADECIMENTOS

Ao criador pela oportunidade dessa vida, pela consciência;

Ao Centro de Ciências Agrárias (CCA- UFSCar) e ao Programa de Pós-Graduação em Agricultura e Ambiente pela oportunidade, apoio e pela infraestrutura cedida.

Ao meu orientador, o Professor Dr. Claudinei F. Souza, pela oportunidade, por todos os ensinamentos, os cafés, pelo apoio, amizade e incentivos;

Ao Professor Dr. Fernando Sala, e Professor Dr. Reinaldo G. Bastos, pelo apoio técnico e atenção. A Gi, prefeita do *campus*, pelo carinho e auxílio sempre que precisávamos;

A CAPES pela concessão da bolsa de auxílio estudantil, à FAPESP pelo auxílio financeiro na implantação e execução deste trabalho;

Aos meus pais pelo apoio incondicional aos meus projetos de vida, pelo carinho e amor;

A minha irmã Rosana, pelo apoio sempre, amizade, e também pelo parecer em tudo o que eu escrevia, sempre com muito carinho e dedicação;

Ao meu filho Léo, pela compreensão, paciência com minhas ausências e com as horas diárias que passava comigo na estufa ou laboratório. Por ser meu maior incentivador para continuar e me reinventar a cada desafio;

Ao meu marido Celso por apoiar meus sonhos, sempre torcer pelo meu sucesso, e pelo otimismo contagiante;

A Maria Laureano, um anjo que Deus colocou ao meu lado para me ajudar incondicionalmente com o Léo sempre que precisava;

As amigas Carina, Letícia, Izabela e Daniela, pela amizade, as horas de conversa, as risadas, fundamentais para tornar esta caminhada mais leve;

Ao João Rios, meu amigo, estagiário, filho, fundamental para este trabalho, a quem sempre irei nutrir um carinho enorme;

Aos amigos Luís Felipe, Marcus Paulo e Diego pela amizade e auxílio no laboratório;

Ao Grupo de Estudos e Pesquisas EASA pelo apoio e amizade;

As empresas LUMAPLASTIC e IBS Mudas pela doação de alguns materiais;

Aos funcionários Camila, Maurício, Carol, Sr. Eduardo, Tiano, Raimundinho e Postinho pela dedicação e por serem sempre solícitos.

A turma de pós-graduação do ano de 2013 e 2014, pela amizade e companhia nos momentos de nervosismo em cada aula e apresentação de trabalho.

A escola Etoze Zuntini e a escola Apae por receberem e darem todo carinho ao Léo enquanto eu estava ausente.

Enfim... a todos que participaram desta etapa da minha vida, muito obrigada!

Tomar água nos dá vida,
tomar consciência nos dará
água.

Autor desconhecido

RESUMO

A água durante muitos anos foi considerada inesgotável, e, somente nas últimas décadas, tomou-se consciência da situação de escassez e da necessidade de racionalizar seu uso, procurar formas de reúso e recuperação da sua qualidade. Neste contexto de busca por alternativas de reúso, o uso de efluentes de esgotos tratados na agricultura pode se tornar importante ferramenta no gerenciamento da água. Portanto este trabalho avaliou a produção de alface (*Lactuca sativa*, L.) hidropônica usando água de reúso proveniente de estação de tratamento de esgoto. O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias - UFSCar, no município de Araras, SP, em casa de vegetação. Os cultivos ocorreram de fevereiro a março (verão) e de julho a agosto (inverno) de 2014. O sistema hidropônico adotado foi a Técnica do Fluxo de Nutrientes (NFT), sendo três tratamentos, o primeiro com água de abastecimento e fertilizantes (TA), o segundo com água de esgoto tratada e complementada com fertilizantes de acordo com resultados de análise química prévia (TRA), e o terceiro somente água de esgoto tratada (TR), distribuídos em quatro blocos ao acaso. Cada tratamento foi composto por quatro parcelas (bancadas), um reservatório de 500 L para armazenar a solução nutritiva, um conjunto moto bomba e um temporizador. Foram utilizados quatro perfis hidropônicos de polipropileno com 3 metros de comprimento em cada bancada, com 48 plantas por parcela, totalizando 192 plantas por tratamento. Avaliou-se a massa fresca, o estado nutricional e a qualidade microbiológica cultura, e a quantidade de fertilizantes usados nos tratamentos. Os valores de massa fresca foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade. Apenas o tratamento TR apresentou diferença significativa em relação aos demais, no qual as plantas apresentaram sintomas de deficiência e tiveram redução na massa fresca significativa ($p < 0,01$). Não foi detectado presença de *E. coli* em nenhum dos tratamentos, e foi possível obter uma economia de alguns de fertilizantes no TRA em comparação ao TA. Esses resultados sugerem a viabilidade da aplicação de água de reúso como fonte de água para a hidroponia, com as correções necessárias, e que o perfil hidropônico pode atuar como uma barreira para impedir o contato do efluente com as folhas de alface, de acordo com as condições e cuidados adotados na manipulação.

Palavras chaves: *Lactuca sativa* L., hidroponia, solução nutritiva, efluente, sustentabilidade.

ABSTRACT

The water for many years was considered inexhaustible, and only in recent decades, became aware of the shortage and the need to rationalize their use, look for ways to reuse and recovery of its quality. In this search context for reuse alternatives, the use of treated sewage sludge in agriculture can become an important tool in water management. Therefore this study evaluated the production of lettuce (*Lactuca sativa* L.) using hydroponic reuse water from sewage treatment plant. The experiment was conducted at Agricultural Science Center - UFSCar, in Araras, SP, in the greenhouse. Crops occurred from February to March (summer) and July-August (winter) 2014. The hydroponic system adopted was the Nutrient Film Technique (NFT), three treatments, with the first supply of water and fertilizers (TA), the second with sewage treated and supplemented with fertilizers according to results of previous chemical analysis (TRA), and the third only treated sewage (TR), distributed in four randomized blocks. Each treatment consisted of four plots (stands), a 500 L tank for storing the nutrient solution, a motor pump assembly and a timer. Four polypropylene hydroponic profiles with 3 meters long were used in each bench, with 48 plants per plot, totaling 192 plants per treatment. We evaluated the fresh weight, nutritional status and the microbiological quality culture, and the amount of fertilizer used in the treatments. The fresh weights were subjected to analysis of variance and means compared by Tukey test at 5% probability. Only the TR treatment showed a significant difference compared to the other, in which the plants showed symptoms of deficiency and have significant reduction in fresh weight ($p < 0.01$). There was no detectable presence of E.coli in any treatment, and it was possible to obtain a saving of fertilizers in some of TRA compared to TR. These results suggest the feasibility of reusing water application as a water source for hydroponics, with the necessary corrections, and that the hydroponic profile can act as a barrier to prevent contact of the effluent with the lettuce leaves, according to the conditions and care adopted in handling.

Keywords: *Lactuca sativa* L., hydroponic, nutrient solution, effluent, sustainability.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mudas no berçário (A) e (B)	29
Figura 2. Representação esquemática da estrutura hidropônica.....	30
Figura 3. Estrutura hidropônica utilizada em casa de vegetação.....	31
Figura 4. Sistema de aeração da solução nutritiva. Fonte: Arquivo pessoal	32
Figura 5. Representação esquemática da ETE construída no Centro de Ciências Agrárias da UFSCar.....	32
Figura 6. Estação de tratamento e casa de vegetação	33
Figura 7. Gráfico do monitoramento diário do pH da solução nutritiva dos tratamentos durante o cultivo de verão	41
Figura 8. Gráfico do monitoramento diário do pH da solução nutritiva dos tratamentos durante o cultivo de inverno.....	41
Figura 9. Gráfico do monitoramento diário da condutividade elétrica da solução nutritiva dos tratamentos durante o período de cultivo no verão	43
Figura 10. Gráfico do monitoramento diário da condutividade elétrica da solução nutritiva dos tratamentos durante o período de cultivo no inverno.....	43
Figura 11. Plantas de alface do tratamento cultivado somente com água de reúso (TR) no verão (A) com sintomas de deficiência nutricional e tamanho fora do padrão comercial; e no inverno (B) com tamanho também fora dos padrões de comercialização.....	46
Figura 12. Sintomas iniciais de amarelecimento (A); borda das folhas com manchas marrom e amarelecimento (B); necrose no meristema apical de folha e aspecto de roseta (C) e (D); nas plantas do TR.....	48
Figura 13. Diferença visual entre as raízes dos diferentes tratamentos. Sistema radicular de planta do TR (A); sistema radicular de planta do TA (B); sistema radicular do TRA (C).....	49
Figura 14. Plantas de alface dos três tratamentos ao final do cultivo de verão, 21 dias após o transplântio.....	49
Figura 15. Plantas de alface dos três tratamentos ao final do cultivo de inverno, 27 dias após o transplântio.....	51
Figura 16. Valores da temperatura no Centro de Ciências Agrárias no período do cultivo de verão e faixa ideal para a cultura de alface.....	54

Figura 17. Valores da temperatura no Centro de Ciências Agrárias no período do cultivo de inverno e faixa ideal para a cultura de alface 54

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Caracterização de alguns parâmetros físico-químicos de diferentes tipos de efluentes	21
Tabela 2. Exemplo de produtividade de culturas fertirrigadas com águas residuárias...	22
Tabela 3. Recomendações sobre a qualidade microbiológica de águas que recebem esgoto sanitário para aplicação na agricultura.....	24
Tabela 4. Solução nutritiva recomendada por Martinez & Silva Filho (2004) para o cultivo de alface	29
Tabela 5. Resultados médios da caracterização físico-química e microbiológica da água de reúso utilizada nos dois cultivos.....	35
Tabela 6. Alguns parâmetros máximos que devem ser observados para as águas doces de classe 1 e 2 estabelecidos pela Resolução do CONAMA 357/05	40
Tabela 7. Médias da condutividade elétrica e pH dos tratamentos nos dois cultivos....	42
Tabela 08. Comparação da quantidade de fertilizante utilizada no TA em relação ao TRA no cultivo de verão	45
Tabela 9. Comparação da quantidade de fertilizante utilizada no TA em relação ao TRA no cultivo de inverno.....	45
Tabela 10. Resultados da análise química foliar dos tratamentos do cultivo de verão ..	46
Tabela 11. Análise de variância da massa fresca das amostras de plantas de alface de cada tratamento (g planta ⁻¹) do cultivo de verão	50
Tabela 12. Valores médios da massa fresca de plantas de alface (g planta ⁻¹) dos tratamentos do cultivo de verão	50
Tabela 13. Resultados da análise química foliar dos tratamentos do cultivo de inverno	50
Tabela 14. Análise de variância da massa fresca das amostras de plantas de alface de cada tratamento (g planta ⁻¹) do cultivo de inverno.....	52
Tabela 15. Valores médios da massa fresca de plantas de alface (g planta ⁻¹) dos tratamentos do cultivo de inverno	52
Tabela 16. Análise de variância da interação dos resultados da massa fresca das amostras de plantas de alface de cada tratamento com o período de cultivo (inverno e verão).....	53

Sumário

1. Introdução.....	14
2. Objetivo	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. Revisão bibliográfica.....	17
3.1 Escassez de água e o reúso na agricultura	17
3.2 Características físicas, químicas e microbiológicas da água de reúso	20
3.3 Qualidade sanitária da água de reúso na agricultura.....	23
3.4 Hidroponia	25
3.5 Cultivo hidropônico de alface com água de reúso	27
4. Material e Métodos.....	28
4.1 Descrição do experimento	30
4.2 Água de Reúso.....	32
4.3 Análise da água de reúso	34
4.4 Solução Nutritiva.....	36
4.5 Análises das plantas de alface	37
4.6 Análise Estatística	38
5. Resultados e Discussão	38
5.1 Análise da água de reúso	38
5.2 Solução nutritiva.....	40
5.3 Avaliação agronômica	46
5.3.1 Cultivo de verão	46
5.3.2 Cultivo de inverno	50
5.5 Análise microbiológica.....	54
6. Conclusões	56

7. Sugestões para pesquisas futuras	57
8. Referências	57
APÊNDICES	68

1. Introdução

A expansão e o crescimento da população, e conseqüentemente o desenvolvimento da indústria e da agricultura, levaram a degradação dos recursos naturais, dentre eles, a água. Durante muitos anos, este recurso foi considerado inesgotável e somente nas últimas décadas tomou-se consciência da situação de escassez, da necessidade de racionalizar seu uso, procurar formas de reuso e recuperação da sua qualidade. A agricultura é responsável por cerca de 70% do consumo global de água (POSTEL & VICKERS, 2004), e em muitas situações não é tão exigente em qualidade representando um setor com potencial para uso de águas residuárias.

O interesse em usar água residuária tratada na irrigação e indústria é objetivo de estudos mais recentes (AZEVEDO et al., 2007; AL-BOON & AL-ANANZEH, 2008; BONINI et al., 2014; KELLER et al., 2005; SOUSA et al., 2006), e se tornou uma opção atraente, pois reduz a contaminação pela descarga direta de esgoto nos corpos hídricos, melhorando as condições de potabilidade, permitindo a utilização mais racional dos recursos hídricos, sendo uma fonte alternativa de água disponível (MARTÍNEZ et al., 2013). Assim, o uso de efluentes de esgotos tratados na agricultura pode se tornar importante ferramenta no gerenciamento da água. A decisão crítica da elaboração de políticas sobre a aplicação de água de reuso pode contribuir para transformar a imagem negativa do esgoto em prática economicamente e ambientalmente segura, no sentido de preservar os recursos hídricos (HESPANHOL, 2002).

A utilização de águas residuárias, com o aporte nutricional característico, pode ser aplicada na irrigação de diversas culturas, realizando economia com fertilizantes na agricultura (MUFFAREG, 2003). Pode-se acrescentar também como benefício do uso dessas águas, a redução da quantidade de esgotos lançados diretamente nos corpos d'água sem o devido tratamento e a redução da pressão sobre mananciais de água devido à substituição da água potável por uma água de qualidade inferior na agricultura.

Há preocupações significativas sobre a segurança da reutilização de águas residuais para fins de irrigação. Em geral, as normas vigentes para a reutilização de efluentes, especificam os padrões de qualidade microbiológica (recorrendo aos organismos indicadores de contaminação) e os tratamentos mínimos requeridos para os efluentes de acordo com o tipo de cultura a ser irrigada e, por vezes, com o método de irrigação empregado (PERIN, 2006). Segundo a FAO (1992), sempre que águas residuárias forem consideradas como fonte de irrigação, a escolha do sistema adequado poderá ser

decisiva na produtividade, diminuição de contaminação da produção, do ambiente, segurança humana, salinidade e riscos de toxicidade.

A hidroponia, que é o cultivo de plantas sem solo, é uma técnica que tem como vantagem minimizar o contato das águas residuárias, as partes comestíveis das plantas e os agricultores, uma vez que somente o sistema radicular da planta tem contato direto com a água. Além disto, Rababah & Asbolt (2000) apontam o uso da hidroponia para o tratamento de águas residuárias e para incrementar a produção de alimentos como um exemplo de economia na gestão da água, afirmando que é possível diminuir o consumo de energia através da redução do bombeamento de águas residuárias entre cidades por meio da aplicação localizada de tecnologias de recuperação, citando a hidroponia como uma destas.

Segundo Ottoson et al. (2005) o sistema de cultivo hidropônico é capaz de reduzir a carga microbiana do efluente através da adsorção dos mesmos nas raízes e também pelo tempo de detenção hidráulica prolongado, uma vez que a água circula em sistema fechado. Os mesmos autores acima citados, afirmam que a hidroponia também contribui para reduzir os teores de nitrogênio e fósforo do efluente. Porém Florencio et al. (2006) salientam que o balanço nutricional quando se utiliza esgoto tratado como solução nutritiva para hidroponia nem sempre é o mais adequado, pois determinadas culturas são sensíveis à composição estequiométrica dos elementos nutritivos, necessitando de correções.

Neste contexto da necessidade de pesquisas e estudos para viabilizar o reúso da água, a hidroponia surge como alternativa para aproveitar o efluente, podendo obter como vantagens a diminuição do lançamento de efluentes nos cursos d'água, a ciclagem dos nutrientes que não foram totalmente eliminados no processo de tratamento utilizado, possibilidade de instalação da infraestrutura necessária próxima a estação de tratamento do efluente, proporcionando a redução dos custos com transporte do efluente.

2. Objetivo

2.1 Objetivo Geral

O presente estudo teve por objetivo avaliar a produção de alface (*Lactuca sativa*, L.) em sistema hidropônico usando água de reúso.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a possibilidade de emprego da água de reúso como fonte alternativa às soluções nutritivas comerciais, em períodos diferentes do ano (inverno e verão);
- Analisar a qualidade microbiológica das folhas de alface produzidas com água de reúso;
- Verificar a redução do uso de fertilizantes químicos através da comparação da quantidade utilizada com água de abastecimento e com água de reúso;
- Comparar a massa fresca dos diferentes tratamentos e dos diferentes períodos (inverno e verão);
- Avaliar o estado nutricional da cultura.

3. Revisão bibliográfica

3.1 Escassez de água e o reúso na agricultura

A água tem sua importância reconhecida desde a antiguidade. A grande maioria das civilizações procuravam se instalar próximas aos cursos d'água. Segundo Brega Filho & Mancuso (2010) em razão da limitação dos recursos hídricos o homem primitivo não fixava moradia e mudava-se constantemente, numa permanente busca de locais com suposta abundância de água, porém essas buscas tornaram-se cada vez mais difíceis em razão do crescimento das populações, surgindo à necessidade de as comunidades disciplinarem e racionalizarem o uso da água.

O ciclo hidrológico, que consiste no movimento cíclico da água presente nos oceanos, continentes e na atmosfera, é movimentado pela energia do Sol e pela gravidade, que leva à evaporação, transpiração, sublimação, condensação, precipitação, infiltração e escoamento artificial das águas (PACHECO & MACHADO, 2010). Baseados neste conceito, durante muitos anos, este recurso foi considerado inesgotável, e somente nas últimas décadas tomou-se consciência da situação de escassez e da necessidade de racionalizar o uso, procurar formas de reúso e principalmente a recuperação da sua qualidade.

Crises no abastecimento de água estão se tornando cada vez mais frequentes em muitos locais, devido à falta de gerenciamento adequado, mudanças nos hábitos de consumo da população, períodos de estiagens e também à própria escassez desse bem (GONÇALVEZ, 2006). Outro fator preocupante é o grande desequilíbrio entre oferta de água e demanda, ocasionado pela distribuição irregular da água pelo mundo, onde de toda a extensão do nosso planeta, cerca de 70% é recoberta por água, porém destes, somente 2,5% é água doce, o restante é água salgada, sendo a distribuição desta água doce irregular, depende essencialmente do ecossistema que compõem cada região.

Na América do Sul, segundo o Programa Hidrológico Internacional da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco), concentra-se 26% do total de água doce disponível no planeta e somente 6% da população do mundo, enquanto no continente asiático há 36% do total de água, porém detém 60% da população mundial (IDEC, 2005). E há que se levar em consideração que nem sempre a água disponível é potável, especialmente próximo aos grandes centros urbanos.

No Brasil, por exemplo, a região Norte, que compreende a Bacia Amazônica, detém cerca de 80% da água brasileira, e a população naquela região representa somente 8% da população nacional (ANA, 2013). Em contraste, a região Sudeste abriga 43% da

população, porém apresenta apenas 6% da água disponível no país (GHISI, 2006). Tundisi (2008) aponta que o conjunto de problemas como o aumento e a exacerbação das fontes de contaminação, a alteração das fontes de recursos hídricos e dificuldade de acesso à água de boa qualidade (potável e tratada) apresenta dimensões em âmbito local, regional, continental e planetário.

Atualmente, a escassez universal de água doce é notória, fato que prejudica tanto o desenvolvimento econômico, como a qualidade de vida (BRAGA et al., 2005). Reverter o quadro geral instalado é uma necessidade emergencial e o reúso de efluentes tratados tem sido cada vez mais aceito (GIORDANO, 1999), passando a ser um instrumento adicional na gestão desse recurso, propiciando atender a demanda de água para fins menos nobres, possibilita também a diminuição das pressões exercidas sobre os mananciais, promovendo assim, a conservação (BRAGA et al., 2005).

O consumo de água por atividade distingue três áreas: a agricultura, considerada a mais dispendiosa, seguida pela indústria e finalizando com as atividades urbano-domésticas. A agricultura no mundo consome em média 70% do volume captado de água, no Brasil este número pode chegar a 80%, em seguida encontra-se o consumo para indústria, com uma média de 20% e por último o uso doméstico com 10% (ANA, 2013). O setor agrícola por ser o maior consumidor de água, representa também o maior potencial para reaproveitamento da água.

O uso da água para fins agrícolas em determinadas situações, é pouco exigente com referência à sua qualidade. Nuvolari et al. (2003) afirmam que a prática agrícola se satisfaz com padrões baixos de qualidade, dependendo do sistema de produção e da cultura, porém em alguns casos chega a recuperar a qualidade da água. Outro fator que vem a somar à importância de procurar formas alternativas e eficientes do uso da água na agricultura é a necessidade de aumentar a produção de alimentos, frente ao crescimento da população e a necessidade de garantir segurança alimentar.

A agricultura irrigada, para manter-se sustentável, em termos ambientais, precisa ser eficiente no uso da água, bem como no uso dos agroquímicos que aplicados às plantas ou ao solo podem causar contaminação dos recursos hídricos subterrâneos (COELHO et al., 2005). Avaliando-se a necessidade de água dos cultivos, em termos médios, é possível verificar-se que, para produzir uma tonelada de grão, são utilizadas mil toneladas de água, sem se considerar a ineficiência dos métodos e sistemas de irrigação e o seu manejo inadequado; avaliações de projetos de irrigação em todo o mundo indicam que mais da metade da água derivada para irrigação se perde antes de

alcançar a zona radicular dos cultivos (PAZ et al., 2000). Para otimizar do uso da água na agricultura, é indispensável emprego de métodos mais eficientes nos sistemas de irrigação, a exemplo, no Brasil, a eficiência da irrigação pode chegar a cerca de 60%, isto é, para cada dez mil litros de água requeridos por hectare de cultivo, há a necessidade de que mais de 16 600 litros sejam aplicados, onde 97% retornam para a atmosfera pela evapotranspiração das plantas (SANTOS et al., 2010).

Portanto a gestão sustentável da água, incluindo o uso de fontes alternativas para a agricultura como o reúso, é fundamental, pois favorece a disponibilidade de água potável para o consumo humano e contribui para garantir água para as gerações futuras. Convém mencionar que se estima que uma economia de apenas 10% da água utilizada na agricultura pode-se até dobrar a capacidade de água para o uso doméstico (GHISI, 2006).

O uso de efluentes de águas residuárias tratadas para irrigação agrícola é uma prática antiga e comum na agricultura (FEIGIN et al., 1991). Bastos (1999) relata as “fazendas de esgotos”, como ficaram conhecidas as primeiras experiências na Inglaterra no início do século XIX, que logo se espalharam por toda a Europa e Estados Unidos.

A Organização Mundial de Saúde estabelece parâmetros para a reutilização de efluentes sanitários, de três formas:

- Reúso indireto: consiste no lançamento de águas residuais nas águas superficiais ou subterrâneas, utilizadas novamente a jusante, de forma diluída;
- Reúso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados, sem passar pela sua descarga num corpo hídrico receptor, como no caso da irrigação e do uso industrial;
- Reciclagem interna: é o reúso da água internamente nas instalações industriais, reciclando e economizando a água.

Nuvolari (2003) aponta que diversos fatores vieram a contribuir para que, mais recentemente, o interesse pela irrigação utilizando corpos d'água que recebem esgoto fosse renovado:

- ✓ Controle da poluição;
- ✓ Racionalização do uso da água;
- ✓ Economia de fertilizantes;
- ✓ Reciclagem dos nutrientes;
- ✓ Aumento da produção agrícola;
- ✓ Cobrança pelo uso da água e pelo lançamento de esgotos.

Segundo Beekman (1996), o reúso vem se tornando um componente importante no planejamento, desenvolvimento e utilização dos recursos hídricos. Nanninga et al. (2012) afirmam que a aplicação das águas residuárias permite que os usuários destas determinem que a quantidade e a qualidade da água seja de acordo com a finalidade do uso, sendo o oposto do que é praticado no tratamento convencional, onde o governo ou a legislação vigente ditam o nível de tratamento do esgoto. A escolha da cultura e o método de irrigação também são ferramentas essenciais para que a aplicação de águas residuárias seja bem sucedida.

3.2 Características físicas, químicas e microbiológicas da água de reúso

O tratamento de águas e sua reutilização na irrigação pode muito bem ser a chave para aliviar a demanda sobre as reservas limitadas de água doce, e também fornecer nutrientes presentes nestas águas, melhorando a capacidade de produção alimentar das famílias e propriedades rurais (FINLEY, 2008). De acordo com Von Sperling (1996) as características dos efluentes estão associadas ao processo de tratamento empregado. O uso da água para fins agrícolas, em determinadas situações, é pouco exigente com relação a sua qualidade.

A qualidade da água utilizada e o objeto específico do reúso, estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital, operação e manutenção associados (HESPANHOL, 2002). Entretanto, a análise físico-química e microbiológica do efluente que se pretende utilizar, revela os potenciais e as limitações para o uso na agricultura.

Na Tabela 1, adaptada de Bastos (1999), o autor descreve resumidamente a caracterização dos efluentes objetivando o seu uso na agricultura.

Tabela 1. Caracterização de alguns parâmetros físico-químicos de diferentes tipos de efluentes

Parâmetro	Unidade	Esgoto Bruto	Efluente secundário (filtro biológico)	Efluente de lagoa de estabilização
Condutividade elétrica	(dS m ⁻¹)	-	1,4	1,5
pH	-	7	6,6	8,2
SST ¹	(mg L ⁻¹)	200-400	32	36,2
SSD ²	(mg L ⁻¹)	500-700	646	1140
DBO ³	(mg L ⁻¹)	250-300	82	44,2
N-total ⁴	(mg L ⁻¹)	35-70	34,9	30,2
P-total ⁵	(mg L ⁻¹)	05 a 25	14	14,6
K	(mg L ⁻¹)	-	32,7	36,8
Na	(mg L ⁻¹)	-	128,9	142,5
Ca	(mg L ⁻¹)	-	55,6	74
Mg	(mg L ⁻¹)	-	34,9	32,2

¹Sólidos suspensos totais; ²Sólidos suspensos dissolvidos; ³Demanda bioquímica de oxigênio; ⁴Nitrogênio total; ⁵Fósforo total. Fonte: Adaptado de Bastos (1999).

Em geral os esgotos sanitários contêm teores de macro e micronutrientes suficientes para o atendimento da demanda da maioria das culturas no sistema de plantio convencional (Bastos, 1999). Uma avaliação mais detalhada da composição dos efluentes, revela os potenciais e as limitações para sua utilização na agricultura. Os nutrientes no esgoto tratado, podem ser reaproveitados para produções agrícolas, conforme mostra diversos estudos (Tabela 2). Os elementos mais importantes para o desenvolvimento das culturas apontados por Nuvolari (2003) como potencialmente disponíveis em águas de reúso são o nitrogênio, o fósforo e, ocasionalmente, o potássio, zinco, boro e enxofre.

Tabela 2. Exemplo de produtividade de culturas fertirrigadas com águas residuárias

Água de irrigação	Cultura	Produtividade	Referência
Reator UASB	Pimentão	26,89 t ha ⁻¹	Sousa et. al (2006)
Esgoto doméstico tratado	Milho forrageiro	29,33 t ha ⁻¹	Azevedo et. al (2007)
Esgoto doméstico tratado	Mamona	1,28 t ha ⁻¹	Ribeiro et. al (2012)

As vantagens do uso das águas residuárias estão associadas com o fornecimento de água às culturas e com a redução de custos para a aplicação de fertilizantes, promovendo a ciclagem dos mesmos, representando ganhos econômicos, mas principalmente ambientais. Uma outra vantagem apontada por Florencio et al. (2006) é que se tem registrado em áreas irrigadas com águas residuárias é a melhoria da qualidade das propriedades químicas e físicas dos solos ácidos, além dos íons fertilizantes presentes nestas águas, coloides orgânicos contribuem para a melhoria da fertilidade destes solos, mantendo os nutrientes por um tempo maior à disposição das culturas. Isto contribui para aumentar a eficiência dos fertilizantes aplicados, representando diminuição dos custos da produção agrícola.

Além do mais, Hespanhol (2008) afirma que efluentes de sistemas convencionais de tratamento, tais como lodos ativados, têm uma concentração típica de 15 mg L⁻¹ de N total e 3 mg L⁻¹ de P total, proporcionando, portanto, às taxas usuais de irrigação em zonas semi-áridas (aproximadamente dois metros por ano) uma aplicação de N e P de 300 e 60 kg ha⁻¹ ano, respectivamente. Esse mesmo autor reforça que o reúso reduz consideravelmente a quantidade aplicada de fertilizantes comerciais, ou mesmo pode eliminar a necessidade do seu emprego, além de proporcionar a adição de matéria orgânica, atuando como um condicionador do solo, e aumentar sua capacidade de reter água.

Porém, segundo Bond (1998), se mal planejado o reúso poderá causar problemas, principalmente com respeito à contaminação do solo e lençol freático por nitratos, compostos orgânicos, sodicidade, salinidade e metais pesados. As principais alterações apontadas por Fonseca et al. (2007) em solos após irrigação com água de reúso foram: teor de carbono total, nitrogênio total e mineral na solução do solo; atividade, composição e função das comunidades microbianas do solo; Ca e Mg trocáveis;

salinidade; sodicidade; dispersão de argila e condutividade hidráulica. Para os demais parâmetros de qualidade de solo os mesmos autores acima citados afirmam que não foram encontradas mudanças significativas nem efeitos ou implicações agrônomo-ambientais a curto e médio prazos.

O interesse em usar efluentes para irrigação de culturas aumentou significativamente no Brasil, devido à crescente dificuldade de identificar fontes alternativas de águas para irrigação; ao custo elevado de fertilizantes; a segurança de que os riscos de saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, caso sejam tomadas as devidas precauções; aos custos elevados dos sistemas de tratamento necessários para descarga de efluentes em corpos receptores; e ao reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos (MANCUSO & SANTOS, 2003). Segundo Cameron et al. (1997), ainda não existe uma certeza se o solo é o local mais adequado onde águas de reúso provenientes do uso doméstico possam ser despejadas; porém a hidroponia pode ser uma alternativa para o reúso quando o solo não for o local mais indicado para sua aplicação.

3.3 Qualidade sanitária da água de reúso na agricultura

Para os padrões de qualidade sanitária a OMS recomenda os critérios para águas de irrigação superficiais (Tabela 3), sendo adotados na maioria dos países, inclusive na Europa (LAZAROVA et al., 2000).

Tabela 3. Recomendações sobre a qualidade microbiológica de águas que recebem esgoto sanitário para aplicação na agricultura

Categoria	Condições de Reúso	Ovos de helmintos L ⁻¹ (média aritmética) ²	Coliformes termotolerantes 100mL ⁻¹ (média geométrica)
A	Irrigação de culturas ingeridas cruas, campos de esporte e parques públicos ¹	≤ 1 ovo/litro	≤ 1000NMP/100ml
B	Irrigação de cereais, culturas industriais, forrageiras, pastagens e árvores ³	≤ 1 ovo/litro	Nenhum padrão recomendado
C	Irrigação localizada de cultura na categoria B ⁴ , quando agricultor e público em geral não são expostos a riscos	Não aplicável	Não aplicável

¹ Em casos específicos, de acordo com os fatores ambientais, epidemiológicos, locais e socioculturais, devem ser consideradas modificações das recomendações; ² Espécies dos helmintos *Ascaris*, *Trichuris*, *Ancilostoma* e *Necator*; ³ Recomendações mais rigorosas devem ser consideradas (≤ 200 CF/100 mL) para gramados públicos onde o público tem contato direto; ⁴ No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve ser suspensa duas semanas antes da colheita, sem que sejam apanhadas no chão. Fonte: Adaptado de Felizatto (2001)

O risco real de um indivíduo ser contaminado depende da combinação de diversos fatores, dentre os quais, a resistência dos micro-organismos ao tratamento do esgoto e às condições ambientais, a dose infectiva e patogenicidade dos agentes infecciosos, a susceptibilidade e grau de imunidade do hospedeiro, o grau de exposição humana, além da existência concorrente de outras vias de transmissão de determinada doença (BASTOS, 1999).

A necessidade do reúso e as vantagens de sua aplicação na agricultura associam-se aos inconvenientes reais e potenciais (MARECOS DO MONTE, 1994). O principal

risco está na possibilidade de contaminação das plantas irrigadas e do solo pelos micro-organismos patogênicos eventualmente presentes nos efluentes tratados (dependendo do tratamento a que os mesmos foram submetidos anteriormente à sua utilização). A manipulação, a forma de aplicação das águas residuárias e o contato com as culturas irrigadas expõem os indivíduos ao risco de contaminação pelos micro-organismos que não foram totalmente removidos no processo de tratamento. Sendo portanto, essencial a escolha e o planejamento adequado do método de irrigação e uso das águas residuárias e a cultura.

3.4 Hidroponia

A hidroponia, que é o cultivo de plantas sem solo, é uma técnica que tem como vantagem minimizar o contato entre as águas residuárias, as partes comestíveis das plantas e os agricultores, uma vez que somente o sistema radicular da planta tem contato direto com a água. Esta técnica, de acordo com Resch (1997), se desenvolveu a partir das descobertas de experimentos feitos na Bélgica por Jan Van Helmont realizados em 1600 para determinar que nutrientes fazem as plantas crescerem e afetarem sua constituição. Entretanto, existem relatos que plantas foram cultivadas sem solo muito antes. Os jardins suspensos da Babilônia; os jardins flutuantes dos Astecas no México e os da China são exemplos de cultivo hidropônico, existindo também hieróglifos egípcios que datam centenas de anos antes de Cristo, que descrevem cultivo de plantas sem solo.

Durante décadas, a partir de 1600, a hidroponia foi usada somente para realização de investigações científicas relacionadas à nutrição mineral de plantas. Somente em 1930, que houve o interesse na aplicação comercial das técnicas de cultivo hidropônico, a partir dos trabalhos experimentais de W. F. Gericke da Universidade da Califórnia (EUA), que denominou este sistema de cultivo como hidroponia, palavra derivada do grego, *hydro* (água) e *ponos* (trabalho). Em seus experimentos Gericke cultivou em hidroponia beterraba, rabanete, cenoura, batatas e outras plantas, utilizando grandes tanques de água. Em 1965 a hidroponia foi relançada, pelo inglês Allen Cooper, em Littlehan (Inglaterra). Allen Cooper lançou bases de uma nova técnica que veio viabilizar a hidroponia em escala comercial, o NTF (Nutrient Film Technique), Técnica do filme de nutriente ou Técnica do fluxo de nutrientes (MARTINEZ, 2006).

Essa técnica do filme de nutrientes (NTF) consiste em fornecer uma solução nutritiva com todos os elementos essenciais à planta, que são alojadas com ou sem

substrato em canais (canos de PVC, perfis hidropônicos), com um declive que pode variar de 3 a 12%, onde essa solução circula pelas raízes através de uma fina lâmina permitindo a oxigenação necessária para as raízes, e retorna para o tanque de armazenamento para posteriormente em um intervalo estabelecido ser recirculada novamente pelos canais.

O uso da hidroponia, segundo Melo et al. (2002), surgiu como uma alternativa devido a problemas como: a não disponibilidade de solos aptos; a incidência de determinadas doenças de solo dificilmente controlados por métodos químicos, sanitários ou de resistência genética; o interesse em incrementar a eficiência do uso da água e o desejo de aumentar a produção e melhorar a qualidade dos alimentos.

As plantas, após serem transplantadas, desenvolvem seu sistema radicular apoiado em canais de cultivo, que são tubos de polipropileno com orifícios, que previnem a entrada de luz e o aquecimento do sistema radicular das plantas, por onde a solução nutritiva circula, intermitentemente, em intervalos definidos e controlados por um temporizador (TEIXEIRA, 1996). A solução nutritiva que circula pelos perfis deve fornecer todos os nutrientes necessários ao desenvolvimento da cultura. Em geral são baseadas na solução proposta por Hoagland & Arnon em 1938, cujos níveis de macro e micronutrientes muito se assemelham aos atualmente utilizados (MARTINEZ, 2006).

Em uma solução nutritiva deve-se considerar os limites de pH, temperatura, pressão osmótica e proporção entre nutrientes, para que um não interfira na absorção do outro. Castellane & Araújo (1995), citam que a faixa de pH entre 6,0 a 6,5 é a melhor para o desenvolvimento vegetal e que valores fora dessa faixa podem produzir precipitações na solução, retirando elementos essenciais da solução, acarretando crescimento reduzido do cultivo. Para Martinez (1999), em pH superiores a 6,5 pode ocorrer precipitação de elementos como cálcio, fósforo, ferro e manganês, que deixam de estar disponíveis às plantas. Normalmente, a faixa de temperatura da solução nutritiva, mais adequada às plantas, é em torno de 20 °C (CASTELLANE & ARAÚJO, 1995). Melo et al. (2002), relatam que os teores de sódio, cloretos e sulfato merecem particular atenção, pois podem alcançar níveis tóxicos, dependendo da origem do efluente tratado e do método de tratamento utilizado.

A aeração do solução nutritiva também é um fator relevante neste sistema, pois segundo Martinez & Clemente (2011) processos vitais ocorrem no sistema radicular, com a absorção de água e nutrientes, e estes por sua vez envolvem gastos de energia e dependem de oxigênio dissolvido na solução.

De acordo com Oyama et al. (2008), tem havido extensa pesquisa realizada em hidroponia utilizando fertilizantes químicos, no entanto, a integração deste sistema com reutilização de águas residuais é uma área ainda em desenvolvimento.

Esta técnica tem despertado interesse crescente no mundo por contribuir para redução dos impactos ambientais. Rodrigues (2002) aponta de um modo geral, como principais vantagens desta técnica de cultivo o aumento da produtividade com menos impacto no ambiente, a maior eficiência na utilização de água de irrigação e fertilizantes, a redução da quantidade ou a eliminação de alguns defensivos e maior probabilidade de obtenção de produtos de qualidade.

De acordo com Florêncio et al. (2006) o uso de águas residuárias ricas em nutrientes no cultivo hidropônico tem sido citado, embora pouco relato sobre o seu emprego tenha sido encontrado na literatura. O mesmo autor cita que Jewell et al. (1989), desenvolveram um processo, adaptado a partir da técnica de cultivo com fluxo laminar de nutrientes (NFT), capaz de simultaneamente, tratar águas residuárias e cultivar plantas ornamentais ou culturas de alimentação humana ou animal. Perin (2006) trabalhou com reúso de efluente de água de lagoa de polimento no cultivo hidropônico de alface com a correção dos nutrientes necessários. A autora obteve como resultado plantas de alface aptas ao consumo, porém salienta a necessidade de um tratamento adicional ao efluente usado no período do verão, devido à grande quantidade de sólidos e algas presentes, que refletiram na produção da cultura.

Ao cultivar tomate cereja em sistema hidropônico para avaliar diferentes doses de efluente proveniente de uma indústria de sorvete, Malheiros et al. (2011) concluíram que doses de até 50% do efluente utilizado não causaram redução na produtividade, e permitiram melhor eficiência no uso da água na produção de matéria seca da parte aérea e dos frutos, e também a máxima substituição de minerais solúveis na solução nutritiva.

3.5 Cultivo hidropônico de alface com água de reúso

A alface é uma planta herbácea, de caule curto, sistema radicular pivotante, com folhas dispostas ao redor do caule, formando uma roseta. Tem como origem a região do mediterrâneo, e é considerada a hortaliça folhosa mais importante no mundo sendo consumida, principalmente, *in natura* na forma de saladas (SALA & COSTA, 2012). As temperaturas ótimas de crescimento da alface encontram-se entre 15 e 20°C (REISSER JR., 1991).

A evolução de cultivares e sistemas de manejo, tratos culturais, irrigação, espaçamentos, técnicas de colheita e de conservação pós-colheita e mudanças nos hábitos de alimentação impulsionaram o cultivo e tornaram a alface a hortaliça folhosa mais consumida no país (RESENDE et al., 2007). Dentre as culturas hidropônicas, a alface é a espécie de maior expressão devido ao seu pioneirismo nesse sistema de produção, por ter fácil aceitação no mercado consumidor, apresentar um ciclo curto de produção (45-60 dias), alta produtividade e rápido retorno do capital investido (SANTOS, 2000; LONDERO & AITA, 2000).

Segundo Boyden & Rababah (1996) uma cultura de alface hidropônica é capaz de extrair aproximadamente 77% do fósforo e 80% do nitrogênio contidos na solução de efluentes de tratamento de esgoto sanitário, mostrando que além de presentes na solução, estes nutrientes também estão disponíveis para serem absorvidos. E Ottoson et al., (2005) reforçam a ideia da hidroponia como uma alternativa para o tratamento convencional de águas residuais, afirmando que a mesma é capaz de reduzir a carga microbiana do efluente, podendo ser viável pelo menos para tratar o efluente de populações menores.

O uso de esgotos tratados em hidroponia, em substituição as soluções nutritivas convencionais, apresentam grande potencial de uso, pois são ricos em macro e micro nutrientes, além disso em locais onde há escassez de água, o reúso da água se faz necessário (Florencio et al., 2006).

4. Material e Métodos

Os cultivos de alface hidropônica foram realizados nas instalações do Departamento de Recursos Naturais e Proteção Ambiental (DRNPA) do CCA – UFSCar (Centro de Ciências Agrárias - Universidade Federal de São Carlos) localizado no município de Araras, estado de São Paulo, com latitude 22°18'53,23"S e longitude de 47°23'00,91"O. O estudo foi desenvolvido em casa de vegetação, composta por estrutura metálica do tipo teto em arco, coberta com polietileno transparente, altura de 3 m e dimensão de 20 m de comprimento por 6,40 m de largura, com laterais fechadas por tela do tipo sombrite. O primeiro cultivo (verão) ocorreu no período de 19 de fevereiro a 11 de março de 2014, e o segundo (inverno) de 01 a 27 de agosto de 2014.

O clima da região é caracterizado por duas estações bem definidas, sendo uma seca, de abril a setembro, e outra chuvosa, de outubro a março, e enquadra-se no tipo "Cwa"

de Köppen (Setzer, 1967), com uma precipitação média anual de 1300 mm. A cultivar selecionada foi a “Vanda”, que é do segmento crespa, uma vez que segundo Sala & Costa (2012), é o tipo que predomina no mercado brasileiro.

O sistema hidropônico adotado foi a Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT) (Martinez, 2006). As mudas foram transplantadas para um berçário, no qual permaneceram por 14 dias, até atingirem o tamanho ideal para serem transferidas para o local definitivo do experimento (Figura 1).



Figura 1. Mudanças no berçário (A) e (B). Fonte: Arquivo pessoal

No berçário as plantas foram cultivadas com solução nutritiva conforme proposto por Martinez & Silva Filho (2004) (Tabela 4).

Tabela 4. Solução nutritiva recomendada por Martinez & Silva Filho (2004) para o cultivo de alface

Fertilizante	Fórmula Química	Concentração (g m ⁻³)
Nitrato de cálcio	Ca(NO ₃) 2.4H ₂ O	900
Nitrato de potássio	KNO ₃	134
Sulfato de potássio	K ₂ SO ₄	280
Sulfato de magnésio	MgSO ₄ .7H ₂ O	495
Cloreto de potássio	KCl	138
Fosfato monoamônico	NH ₄ H ₂ PO ₄	142
Cloreto férrico	FeCl ₃ .6H ₂ O	11,97
Sulfato de manganês	MnSO ₄ . H ₂ O	3,39
Ácido bórico	H ₃ BO ₃	2,92
Sulfato de zinco	ZnSO ₄ .7H ₂ O	0,49
Sulfato de cobre	CuSO ₄ .5H ₂ O	0,08
Molibdato de sódio	Na ₂ MoO ₄ .2H ₂ O	0,12
EDTA-dissódico	C ₁₀ H ₁₄ N ₂ O ₈ Na ₂ .2H ₂ O	16,42

Fonte: Martinez & Silva Filho (2004)

4.1 Descrição do experimento

A estrutura utilizada foi composta por doze bancadas de cultivo, com três metros de comprimento cada uma, e quatro perfis hidropônicos de polipropileno (75 mm) por bancada, em casa de vegetação (Figura 2). Os perfis hidropônicos consistem em canaletas, com aberturas nas extremidades, para entrada e saída da solução, e orifícios na parte superior para alocar as plantas, e são nestes perfis que circula a lâmina da solução que nutre as plantas de alface através das raízes.

O esquema experimental utilizado foi em quatro blocos ao acaso, com três tratamentos, totalizando doze parcelas. O primeiro foi alimentado com água de abastecimento e fertilizantes químicos (TA), o segundo por esgoto tratado e complementado com fertilizantes químicos de acordo com resultado de sua análise química (TRA) e o terceiro somente com esgoto tratado (TR) do qual também foi feita a análise química.

A estrutura de cada tratamento foi composta por um sistema hidropônico NFT, contendo um reservatório com capacidade para armazenar 500 L de solução nutritiva, um sistema de bombeamento, quatro bancadas (repetições) com quatro perfis hidropônicos e um sistema de retorno da solução ao tanque (Figura 3).

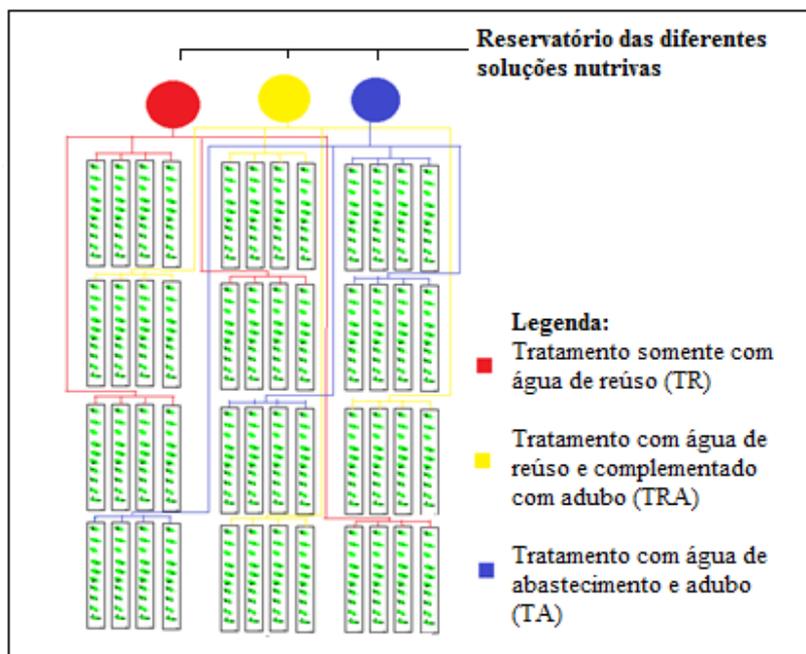


Figura 2. Representação esquemática da estrutura hidropônica. Fonte: Arquivo pessoal



Figura 3. Estrutura hidropônica utilizada em casa de vegetação. Fonte: Arquivo pessoal

O espaçamento entre perfis hidropônicos foi de 0,30 m, entre plantas de 0,25 m e a distância entre as bancadas de 0,70 m para permitir o manuseio, desta forma trabalhou-se com 12 plantas por perfil, 48 por bancada e 192 plantas por tratamento. A declividade usada foi de 10 % para facilitar o escoamento da solução nutritiva por gravidade.

A solução nutritiva foi bombeada do reservatório de armazenamento até a parte mais alta do perfil por um conjunto moto bomba e retornou ao reservatório por ação da gravidade. A vazão mantida em média para cada perfil foi de $1,5 \text{ L min}^{-1}$, conforme proposto por Martinez & Silva Filho (2004). O sistema funcionou através de um temporizador, que acionava o conjunto moto bomba fornecendo a solução em intervalos regulares, programado para permanecer o fluxo intermitente (15 minutos ligado e 15 minutos desligado) e no período noturno 15 minutos a cada 1 hora.

Para assegurar a oxigenação das soluções nutritivas, um sistema de aeração foi montado aproveitando o retorno da solução nutritiva do conjunto moto bomba. O sistema foi feito com um tubo de PVC com 32 mm de diâmetro, 40 cm de comprimento e perfurações de 0,6 cm a cada 08 cm, em todos os tratamentos (Figura 4).



Figura 4. Sistema de aeração da solução nutritiva. Fonte: Arquivo pessoal

4.2 Água de Reúso

A água de reúso foi captada na estação de tratamento de esgoto (ETE) (Figura 5) no tanque de equalização, que fica na saída do tanque de *wetlands*, instalada ao lado da casa de vegetação (Figura 6). Essa estação foi dimensionada para receber e tratar 2000 L de esgoto por dia com tempo de detenção hidráulica de 22 horas.

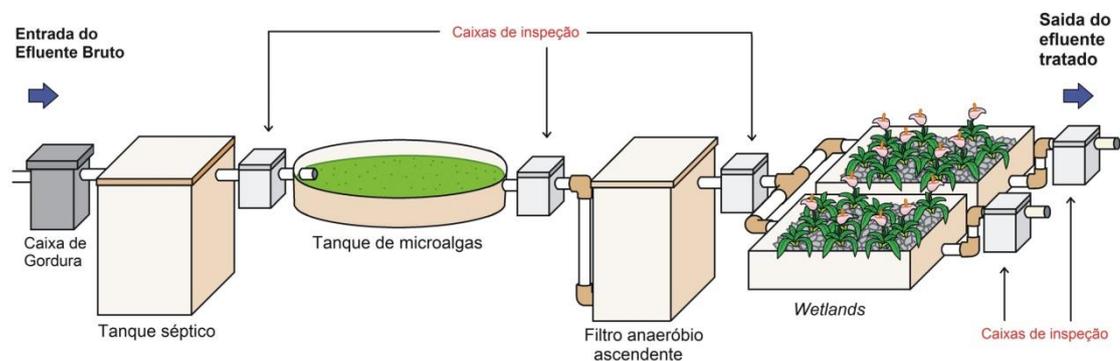


Figura 5. Representação esquemática da ETE construída no Centro de Ciências Agrárias da UFSCar. Fonte: Pulschen et al., 2013.



Figura 6. Estação de tratamento e casa de vegetação. Fonte: Arquivo pessoal

A estação é dividida em várias unidades, esperando-se delas a melhor depuração dos resíduos além do aproveitamento dos nutrientes resultantes do processo de tratamento para a fertirrigação. Essa divisão segue a lógica de um biofiltro, onde o efluente bruto que é gerado é lançado, primeiramente, no tanque séptico, seguindo por tubulação de PVC para uma lagoa de microalgas e posteriormente passa para o filtro anaeróbio de fluxo ascendente e, deste descartado no tanque de *wetlands*.

A função do tanque séptico é a de remover a maior parte dos sólidos em suspensão, os quais sedimentam e sofrem o processo de digestão anaeróbia no fundo do tanque. Pelo fato dos tanques sépticos serem tanques de sedimentação (sem reações bioquímicas na fase líquida), a remoção da DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio, é limitada. A lagoa de microalgas tem como principal característica a remoção de nitrogênio e fósforo contidos no esgoto, no qual as microalgas da espécie *Desmodesmus subspicatus* que predominam no tanque, durante o seu processo de respiração e fotossíntese consomem parte destes nutrientes.

O filtro anaeróbio é um reator com biofilmes, sendo preenchido com pedras britadas, apresentando alguma similaridade com os filtros biológicos percoladores aeróbios, pois a biomassa cresce aderida a um meio de suporte, neste caso as pedras britadas, atuando na remoção complementar da DBO.

No tanque de *wetlands*, que também é preenchido com pedras britadas, são transplantadas mudas de espécie vegetal *Cyperus alternifolius*, conhecida popularmente como mini Papiro. Trata-se de uma espécie adaptada a solos úmidos e/ou saturados e ricos em matéria orgânica, e mostra-se eficiente no tratamento de efluentes domésticos, também contribui com embelezamento paisagístico por tratar-se de espécie ornamental. O efluente após passar por todas as etapas da estação fica armazenado em um tanque de equalização até ser utilizado no experimento.

Todas as unidades da estação são estanques, de material impermeabilizado (polietileno) para que seja evitado qualquer tipo de vazamento e consequente contaminação do solo, lençol freático ou aquífero subterrâneo.

4.3 Análise da água de reúso

A análise do efluente tratado foi feita antes da sua aplicação nos tratamentos, para efeito de caracterização (Tabela 5) e também para calcular a quantidade de fertilizante a ser adicionado no tratamento TRA. Foram coletadas amostras de 0,5 L em frasco esterilizado no tanque de equalização, segundo metodologia da CETESB (2011), e conduzida para o Laboratório de Poluição do Solo, para análise dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, tais como: pH, turbidez, demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅²⁰), oxigênio dissolvido (OD), condutividade elétrica (CE), fósforo total, nitrogênio total, condutividade elétrica (CE) e coliformes totais e *Escherichia coli*. Os demais parâmetros químicos, como os teores de cálcio, sódio, potássio, magnésio, foram analisados no Laboratório de Fertilidade do Solo.

Tabela 5. Resultados médios da caracterização físico-química e microbiológica da água de reúso utilizada nos dois cultivos

Parâmetros	1° Cultivo		2° Cultivo	
	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão
pH	8,10	0,22	7,38	0,15
CE (dS m ⁻¹)	0,48	0,05	0,72	0,12
DBO ₅ ²⁰ (mg L ⁻¹)	18,55	2,21	42,30	9,84
OD (mg L ⁻¹)	4,12	0,25	2,35	0,27
Turbidez (NTU)	4,92	0,19	21,35	4,45
NTK ¹ (mg L ⁻¹)	43,85	30,75	NR ²	NR
NOT ³ (mg L ⁻¹)	NR	NR	23,80	6,08
P (mg L ⁻¹)	5,60	3,63	5,08	2,55
K (mg L ⁻¹)	13,15	13,87	14,50	7,19
Ca (mg L ⁻¹)	7,72	7,38	48,39	17,37
Mg (mg L ⁻¹)	3,16	1,92	11,39	9,53
S (mg L ⁻¹)	33,14	5,18	28,89	37,53
Na (mg L ⁻¹)	52,00	2,58	53,00	40,27
Coliforme totais NMP ^{4*} 100 mL ⁻¹	24,20 x 10 ²	-	>24,20 x 10 ²	-
<i>Escherichia coli</i> NMP* 100 mL ⁻¹	1,51 x 10 ²	-	>24,20 x 10 ²	-

¹ Nitrogênio total kjeldahl; ² Não realizado; ³ Nitrogênio orgânico total; ⁴ Número mais provável; * Não há desvio padrão para este parâmetro.

Para determinação da DBO₅²⁰ optou-se pelo método de diluição, inoculação e incubação por período de cinco dias a 20° C. A quantificação da concentração de cálcio, sódio, potássio, magnésio e enxofre foi realizada através decomposição com mistura ácida de ácido nítrico e ácido perclórico (NOGUEIRA & SOUZA, 2005). Para fósforo total foi usado o método colorimétrico após digestão com persulfato.

No cultivo de verão os teores de nitrogênio total foram quantificados pelo método Kjeldahl, que tem como princípio a decomposição por via úmida (ácido nítrico e ácido perclórico), seguida por destilação à vapor e titulação para quantificação do nitrogênio (NOGUEIRA & SOUZA, 2005). No cultivo de inverno os teores de nitrogênio total foram determinados usando um analisador de carbono orgânico total, pelo método de oxidação catalítica por combustão a 680 °C.

Para as análises microbiológicas, optou-se pela análise quantitativa, através do uso do Método Enzimático (Sistema Colilert da IDEXX¹), pela facilidade de operação e obtenção dos resultados de Coliformes totais e *Escherichia coli* em 24 horas, em número mais provável (NMP). Este método baseia-se na presença de dois nutrientes indicadores, o-nitrofenil- β -D-galactopiranosídeo (ONPG) capaz de ser degradado pela enzima β -D-galactosidase das bactérias do grupo dos coliformes totais, produzindo o-nitrofenol, produto de coloração amarela. O segundo nutriente indicador presente é o β -D glucuronídeo (MUG) que é degradado pela enzima β -glucuronidase do *E.coli* resultando na formação do produto fluorescente 4-metil-umbeliferona. Este método apresenta poucos interferentes na medida, por que poucas bactérias além daquelas pertencentes ao grupo coliformes apresentam tais enzimas (IDEXX, 2002).

A análise quantitativa através do método enzimático é dada pelo uso de uma cartela Quanti-tray onde após a selagem, incubação e contagem dos cubos (amarelos para Coliformes totais e azuis fluorescente com o auxílio de uma luz ultravioleta, de 365nm, para *E.coli*) obtêm-se o número mais provável (NMP) numa amostra de água, utilizando tabela de probabilidade com limite de confiança de 95%. Para esta análise usou-se amostras de 100 mL do efluente tratado antes de ser aplicado no cultivo e após a circulação no sistema hidropônico, sempre usando frasco de vidro esterilizado com tampa.

A realização das análises químicas e físicas foram semanais, para que a cada necessidade de ajuste ou reposição da solução nutritiva se conhecesse o teor de nutrientes. Somente para Coliformes totais e *E. coli* que as análises foram feitas na última semana de cada cultivo, uma vez que para a correção da solução este parâmetro não é necessário. A metodologia analítica adotada em todas as análises (químicas, físicas e microbiológicas), está de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

4.4 Solução Nutritiva

O preparo da solução nutritiva para o TA e para o TRA foi feita com base na recomendação para a cultura de alface (Tabela 4) proposta por Martinez & Silva Filho (2004). No tratamento TRA a adição dos fertilizantes foi de acordo com o resultado das

¹ Referências à marca registrada não constituem endosso por parte dos autores.

análises descritas na Tabela 5, descontando da quantidade recomendada (Tabela 4) os teores já presentes no efluente tratado, e para o tratamento TR conforme já mencionado a solução usada foi apenas a água de reúso.

No preparo da solução tomou-se o cuidado de dissolver previamente cada fertilizante em um balde para depois serem adicionados aos seus respectivos reservatórios, evitando assim a formação de precipitados.

Para manter o meio favorável ao desenvolvimento das plantas neste sistema fez-se o monitoramento diário do pH e condutividade elétrica das soluções, através do qual foi possível determinar a necessidade da adição de sais para ajustar o pH e a condutividade elétrica, conforme proposto por Martinez (2002). Esses cuidados foram necessários, pois a condutividade elétrica acima da recomendada, devido à maior pressão osmótica, proporciona menor absorção de água, redução no transporte de nutrientes, menor desenvolvimento e menor ganho de peso, e, abaixo do recomendado, a solução possui pressão osmótica menor, a planta absorve mais água, porém o ganho de peso é menor, pois os nutrientes são ofertados em quantidade inadequada à demanda da planta (PEREIRA et al. 2011).

4.5 Análises das plantas de alface

As avaliações dos teores de nutrientes nas folhas de alface foram realizadas quando a cultura estava com dois terços do seu desenvolvimento, em ambos os cultivos, com a coleta aleatória de 15 folhas recém desenvolvidas, formando uma amostra composta de cada um dos tratamentos, seguindo a metodologia proposta por Raij et al., (1997). Os teores dos nutrientes analisados foram: nitrogênio (N), fósforo (P) potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S), magnésio (Mg), cobre (Cu), ferro (Fe), zinco (Zn), manganês (Mn), boro (B) e sódio (Na).

Aos 21 dias no cultivo de verão e aos 27 dias no cultivo de inverno após o transplante para o local definitivo as plantas atingiram o desenvolvimento adequado para a colheita. Inicialmente foi realizada a coleta ao acaso de folhas recém desenvolvidas e folhas próximas as raízes, usando luvas e sacos plásticos estéreis, em cada parcela, para análise microbiológica das plantas, e em seguida foram encaminhadas para o Laboratório de Microbiologia Aplicada (LABMAC/DTAISER/CCA). Foi adotada a metodologia das placas Petrifilm da 3M¹ para coliformes totais e termotolerantes (*Escherichia coli*).

Após a coleta para a análise microbiológica fez-se a colheita das plantas para determinação da massa fresca. Foram coletadas 03 plantas de cada parcela. Na sequência procedeu-se a pesagem das amostras em balança analítica para determinar a massa fresca das plantas de alface de cada tratamento.

As amostras para a análise microbiológica foram manipuladas em câmara de fluxo laminar em solução de peptona 0,1%, sendo posteriormente incubadas por 24 horas a 35° C em estufa de germinação e novamente em câmara do fluxo laminar inoculadas nas placas Petrifilm. Após o período de incubação de 24 e 48 horas, procedeu-se a contagem de Coliformes totais e *Escherichia coli*, respectivamente. Foram avaliados as presenças de apenas esses dois grupos de micro-organismos dos Coliformes Totais e especificamente a *Escherichia coli*, a qual é usada como indicadora de contato com efluente contaminado por fezes humanas por ser uma bactéria presente no trato intestinal de animais de sangue quente.

4.6 Análise Estatística

As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa de estatístico *Instat* versão 3.6. Calculou-se a média por planta da massa fresca total (raízes e parte aérea) das amostras colhidas de cada tratamento, e os resultados médios foram submetidos ao teste estatístico de Tukey para verificar se houve diferença significativa ($p \geq 0,05$) entre os tratamentos para o cultivo de verão e inverno.

Para avaliar se houve influência da época de cultivo, o experimento foi considerado em parcelas subdividas no tempo, considerando os cultivos (inverno e verão) como parcelas. E as médias foram submetidas ao teste de Tukey a 5% de probabilidade.

5. Resultados e Discussão

5.1 Análise da água de reúso

Os resultados das análises da água de reúso proveniente da ETE conforme Tabela 5, revelam um efluente com baixos teores de nutrientes para ser usada como solução nutritiva, levando em consideração os valores recomendados por Martinez & Silva Filho (2004) (Tabela 4) para a cultura da alface. Estes resultados estão relacionados principalmente à origem do efluente, doméstica, e também ao processo de tratamento utilizado.

Pulschen et al. (2013), ao realizarem o monitoramento desta ETE, concluíram que a eficiência na remoção de Nitrogênio e Fósforo é atribuída ao tanque de microalgas, uma vez que as algas da espécie *Desmodesmus subspicatus* que predominam no tanque, durante o seu processo de respiração e fotossíntese consomem parte destes nutrientes, proporcionando o aumento da eficiência da estação. Porém vale ressaltar que mesmo sem esta etapa de tratamento o efluente não teria a quantidade necessária de nutrientes para a cultura de alface em hidroponia.

A condutividade elétrica nos dois cultivos ficou abaixo de $0,75 \text{ dS m}^{-1}$, valor proposto por Martinez e Silva Filho (2004) como parâmetro de qualidade da água para o preparo da solução nutritiva.

O valor do pH da água de reúso ficou acima do recomendado, segundo Castellane & Araújo (1995), a faixa de pH entre 6,0 a 6,5 é a melhor para o desenvolvimento vegetal, e valores acima dessa faixa podem produzir precipitações na solução indisponibilizando elementos essenciais da solução, principalmente cálcio, fósforo, ferro e manganês, acarretando crescimento reduzido da planta. Para alcançar valores mais baixos Martinez (2006) recomenda adicionar a solução nutritiva ácido nítrico, sulfúrico ou ortofosfórico, porém salienta a necessidade de considerar as quantidades de nutrientes por eles fornecidos.

Quanto aos teores de cálcio, magnésio, sódio e sulfatos, foram considerados normais quando comparados aos resultados das análises necessárias para se avaliar a qualidade da água de irrigação de acordo com Ayers & Westcot (1999). Porém, o teor de potássio estabelecido pelos mesmos autores encontra-se acima dos valores normais, mas vale salientar que estes são padrões para aplicação no solo desta água, e que para o uso como solução nutritiva este valor é baixo.

As análises microbiológicas do efluente envolveram somente coliformes totais e *Escherichia coli*, uma vez que somente a presença da *E. coli* indica a contaminação e possibilita afirmar com segurança a possível presença de outros enteropatógenos (SANT'ANA et al., 2003; WHO, 2002).

A Resolução do CONAMA 357/2005 estabelece classificações para as águas doces, salobras e salinas segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes. E para irrigação de hortaliças que são consumidas cruas é necessário que a água utilizada se enquadre nos padrões de qualidade da classe 1 e 2. Na Tabela 6 estão descritos alguns dos parâmetros de qualidade exigidos para estas classes e seus respectivos

valores máximos permitidos. Os resultados para a DBO_5^{20} , fósforo total, oxigênio dissolvido e número mais provável de coliformes termotolerantes da água de reúso utilizada nos cultivos (Tabela 5) estão acima dos padrões permitidos nesta resolução.

Tabela 6. Alguns parâmetros máximos que devem ser observados para as águas doces de classe 1 e 2 estabelecidos pela Resolução do CONAMA 357/05

Parâmetros	Classe 1	Classe 2
pH	6,0 – 9,0	6,0 – 9,0
DBO_5^{20} (mg L^{-1})	3,0	5,0
OD (mg L^{-1})	6,0	5,0
Turbidez (NTU)	40,0	100,0
Fósforo total ¹ (mg L^{-1})	0,1	0,1
Coliformes termotolerantes NMP ² 100 mL^{-1}	200	1000

¹Valor estabelecido para ambientes lóticos ou intermediário; ² Número mais provável.

A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB, 2001) determina as condições de reúso, permitindo somente aplicação em campos esportivos, parques públicos, cereais e ou cultura a ser industrializada, silvicultura, frutíferas, forragens para feno e silagem. Desta forma, independente da contagem de coliformes totais e *E. coli* ainda não é permitido o uso deste tipo de efluente no cultivo de hortaliças. Avaliando as legislações pertinentes ao reúso, incluindo os padrões estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde, todos generalizam a forma de irrigação, não havendo uma especificação do método de irrigação, seja aspersão ou gotejamento, e também quanto ao tipo de cultivo, no solo (convencional) ou hidropônico (NFT).

5.2 Solução nutritiva

Os resultados do monitoramento diário do pH constam nas Figuras 7 e 8, e da condutividade elétrica nas Figuras 9 e 10, de ambos os tratamentos no cultivo de verão e de inverno. As médias e os desvios padrão de cada tratamento da condutividade elétrica e do pH estão descritos na Tabela 7.

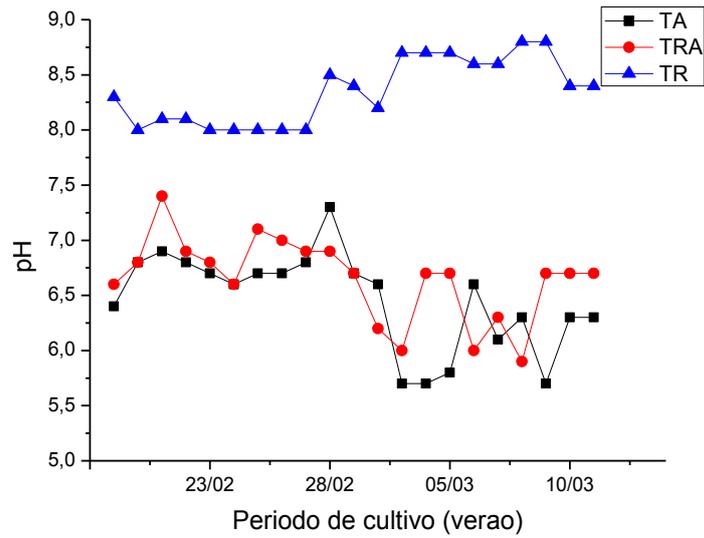


Figura 7. Gráfico do monitoramento diário do pH da solução nutritiva dos tratamentos durante o cultivo de verão

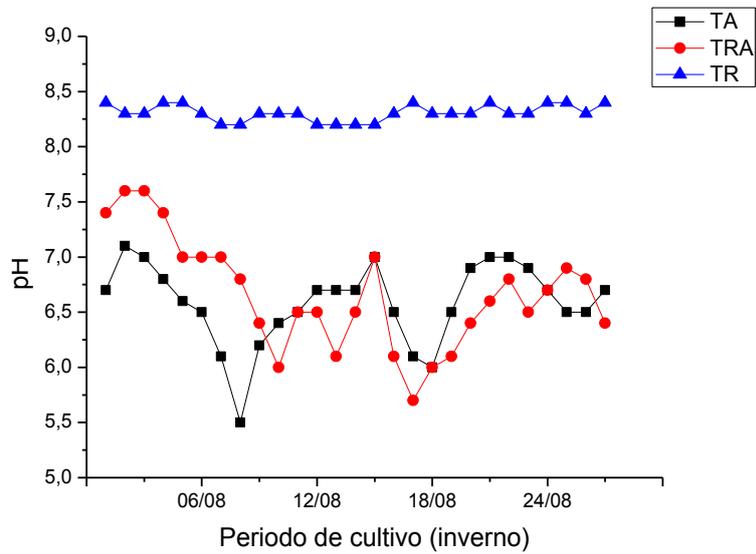


Figura 8. Gráfico do monitoramento diário do pH da solução nutritiva dos tratamentos durante o cultivo de inverno

Tabela 7. Médias da condutividade elétrica e pH dos tratamentos nos dois cultivos

Tratamentos	Cultivo verão		Cultivo Inverno	
	CE	Desvio padrão	CE	Desvio padrão
TA	2,73	0,24	2,07	0,27
TRA	2,52	0,25	2,11	0,17
TR	0,41	0,03	0,55	0,09

	pH	Desvio padrão	pH	Desvio padrão
TA	6,46	0,45	6,58	0,36
TRA	6,64	0,38	6,65	0,49
TR	8,34	0,31	8,3	0,07

O valor do pH oscilou nos tratamentos TA e TRA em ambos os cultivos, porém, é esperada essa variação, uma vez que a solução nutritiva não tem capacidade tampão (BACKES et al., 2004). Estes valores médios estão no limite da faixa considerada ideal para a absorção dos nutrientes, porém mesmo nestas condições não foram observados sintomas visuais de deficiência de nutrientes. Para o tratamento TR, o valor do pH apresentou pequenas variações em ambos os cultivos, contudo com pH acima do ideal.

Backes et al. (2004) em um trabalho sobre a reposição de nutrientes em soluções nutritivas para o cultivo de alface, observaram que nos tratamentos em que ocorreram maiores oscilações do pH e da condutividade elétrica houve uma menor produção de matéria fresca total. Apesar das variações apresentadas nas Figura 8 e 9 para a solução nutritiva dos tratamentos TA e TRA, não houve nenhum prejuízo para a cultura, uma vez que ficaram dentro da faixa considerada aceitável.

Para o tratamento somente com água de reúso, o pH permaneceu estável em comparação com os demais tratamentos, no entanto, em uma faixa acima do ideal. Gomes et al. (2011) afirmam que o efeito direto sobre o crescimento de plantas cultivadas em solução nutritiva com pH acima do recomendado, é resultado da ação dos íons hidroxila (OH^-) sobre as membranas das células das raízes. Neste caso, foi possível observar visualmente menor crescimento do sistema radicular das plantas do tratamento TR quando comparadas aos demais. Nestas condições podem ocorrer precipitações dos elementos como o cálcio, fósforo, ferro e manganês. Martinez (2002) afirma que em pH elevado há uma concentração elevada de hidroxilas sobre a membrana das paredes celulares, e o cálcio por ser um elemento estrutural das paredes celulares pode atuar como um protetor, sendo exigido pela planta em maiores concentrações.

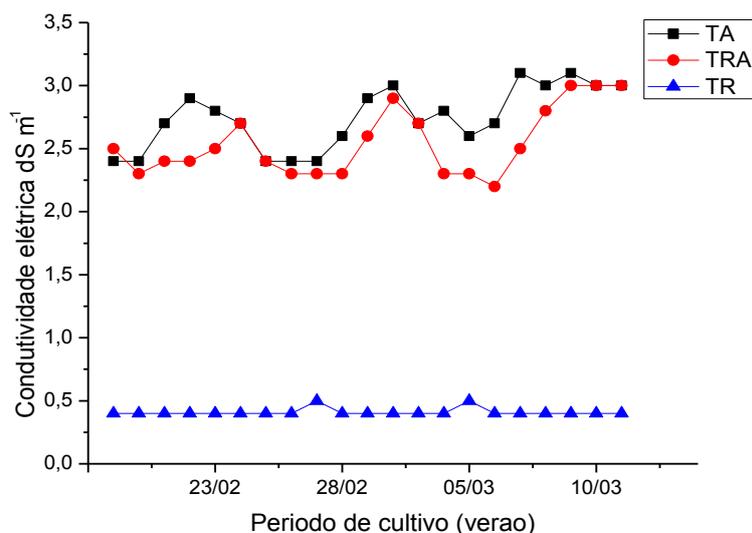


Figura 9. Gráfico do monitoramento diário da condutividade elétrica da solução nutritiva dos tratamentos durante o período de cultivo no verão

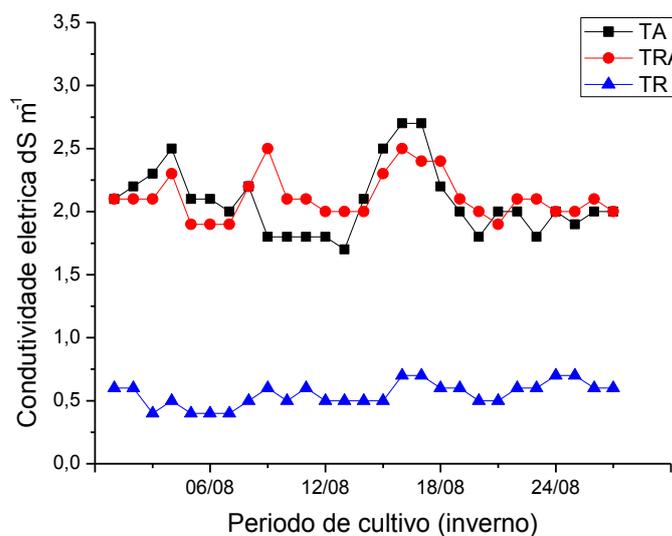


Figura 10. Gráfico do monitoramento diário da condutividade elétrica da solução nutritiva dos tratamentos durante o período de cultivo no inverno

A condutividade elétrica média dos tratamentos TA e TRA (Tabela 7) no cultivo de verão foram ligeiramente superiores ao recomendado para o cultivo de alface em hidroponia. Estes valores se encontram acima de $2,5 \text{ dS m}^{-1}$ recomendado por Martinez & Silva Filho (2004), referência utilizada para o preparo da solução nutritiva. Para Resh (1997), a condutividade elétrica deve ficar entre $1,5 \text{ dS m}^{-1}$ e $2,0 \text{ dS m}^{-1}$, e Raij et al.

(1997) recomendam para hortaliças de folhas usar a condutividade elétrica numa faixa de $1,0 \text{ dS m}^{-1}$, em sistema hidropônico.

Apesar da condutividade elétrica e do pH terem alcançado valores acima do recomendado nos tratamentos TA e TRA do cultivo de verão, não refletiu em redução da massa matéria fresca e nem tampouco em sintomas visuais de qualquer deficiência nutricional. Nas condições climáticas em que o experimento foi conduzido, é possível apontar o maior consumo de água pelas plantas como uma das causas do aumento da condutividade elétrica, relacionando-o aos fatores climáticos e a evapotranspiração. Outro fator que também corroborou, foi o manejo da solução nutritiva, em que a reposição dos sais foi feita em relação ao volume de solução nutritiva nos reservatórios, sendo os ajustes semanais e usando como recomendação a redução de 30% da condutividade elétrica do valor inicial, conforme proposto por Martinez & Silva Filho (2004).

No cultivo de inverno os valores da condutividade elétrica foram mais baixos que os do cultivo de verão para os tratamentos TA e TRA, esta diferença está relacionada à temperaturas mais amenas, e conseqüentemente um menor consumo hídrico, também é possível correlacionar com um desenvolvimento mais lento das plantas em decorrência de temperaturas mais baixas.

No tratamento TR a condutividade elétrica permaneceu estável, no inverno e no verão, com pequenas variações. A origem do efluente usado e o processo de tratamento empregado refletem diretamente neste valor. Essa não oscilação da condutividade elétrica ao longo do cultivo demonstra que apesar dos nutrientes estarem presentes na água de reúso, não foram absorvidos pela cultura e não estão em quantidades suficientes, sendo o pH elevado apontado como principal fator responsável pela não absorção dos macronutrientes.

A quantidade de sais utilizados nos tratamentos TA e TRA no verão e inverno estão descritas na Tabela 8 e Tabela 9, respectivamente. Com o uso do efluente tratado como fonte de água para o preparo da solução nutritiva e descontando da quantidade recomendada os teores já presentes no mesmo, foi possível uma redução da quantidade de sais utilizados no tratamento TRA comparado com o tratamento TA, sem prejuízos para a produção de massa fresca da cultura.

A diferença nas quantidades utilizadas nos períodos diferentes se deve ao fato de ocorrerem oscilações na quantidade de macro nutrientes na água de reúso utilizada, essa variação é esperada pois ocorrerem variações no esgoto gerado ao longo dos dias.

Tabela 08. Comparação da quantidade de fertilizante utilizada no TA em relação ao TRA no cultivo de verão

Fertilizante	Quantidade total utilizada		Porcentagem de economia (%)
	TA (g)	TRA (g)	
Nitrato de cálcio	990,0	882,9	11
Sulfato de magnésio	544,5	302,3	44
Cloreto de potássio	151,8	76,6	49
Fosfato monoamônico	156,2	139,7	11

Tabela 9. Comparação da quantidade de fertilizante utilizada no TA em relação ao TRA no cultivo de inverno

Fertilizante	Quantidade total utilizada		Porcentagem de economia (%)
	TA (g)	TRA (g)	
Nitrato de cálcio	900,00	733,68	18
Sulfato de magnésio	495,00	350,44	44
Cloreto de potássio	138,00	77,80	29
Fosfato monoamônico	142,00	129,86	9

No tratamento TR, no qual não foi adicionado nenhum fertilizante, os prejuízos para a cultura foram visíveis, como sintomas de deficiência de nutrientes, crescimento reduzido da parte aérea e do sistema radicular, resultando em plantas visualmente fora dos padrões de qualidade para o mercado (Figura 11).



Figura 11. Plantas de alface do tratamento cultivado somente com água de reúso (TR) no verão (A) com sintomas de deficiência nutricional e tamanho fora do padrão comercial; e no inverno (B) com tamanho também fora dos padrões de comercialização. Fonte: Arquivo pessoal.

5.3 Avaliação agrônômica

5.3.1 Cultivo de verão

Os resultados da análise química das folhas de alface dos diferentes tratamentos no verão (Tabela 10) foram comparados com a faixa de teores adequados de macronutrientes e micronutrientes conforme Raij et al., (1997).

Tabela 10. Resultados da análise química foliar dos tratamentos do cultivo de verão

Tratamentos	Macronutrientes g kg ⁻¹					
	N	P	K	Ca	Mg	S
TA	41,25	5,91	38,45	2,58	1,13	1,69
TRA	47,25	5,66	36,4	2,63	1,18	1,63
TR	23,13	2,4	14,58	1,81	0,88	0,87
	Micronutrientes g kg ⁻¹					
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
TA	0,03	0,006	0,1	0,09	0,01	
TRA	0,03	0,004	0,1	0,05	0,01	
TR	0,007	0,002	0,03	0,03	0,007	

Para os tratamentos TA e TRA os teores de potássio, cálcio, magnésio, cobre e zinco encontraram-se abaixo da faixa recomendada para a cultura de acordo com Raij et al. (1997), mas as plantas não apresentaram nenhum sintoma visual destas deficiências. A ocorrência destas deficiências apontadas somente na análise química das folhas pode estar relacionada ao valor do pH das soluções nutritivas destes tratamentos, TA e TRA, uma vez que pH mais elevado pode acarretar a precipitação de alguns nutrientes. Para os demais macronutrientes e micronutrientes os valores ficaram dentro da faixa adequada.

No tratamento TR, como já era esperado, devido aos sintomas visuais de deficiência, a baixa quantidade de nutrientes na solução nutritiva e o pH inadequado, todos os teores ficaram abaixo do recomendado por Raij et al., (1997). As plantas neste mesmo tratamento, aos cinco dias após o transplante para o local definitivo já apresentaram os primeiros sinais de deficiência (Figura 12, A).

O primeiro sintoma de deficiência visual observado no tratamento TR foi o de nitrogênio. É o elemento mais exigido pela maioria das culturas (Martinez & Clemente, 2011), e por fazer parte das moléculas de clorofila, quando seu teor é insuficiente o resultado é uma redução da taxa de fotossíntese. E conseqüentemente funções essenciais como a absorção de nutrientes, crescimento e divisão celular são prejudicados, resultando em plantas pequenas com o crescimento lento e clorose generalizada.

A partir da metade do ciclo do tratamento TR notou-se deficiência de cálcio, com o aparecimento de necrose nos meristemas apicais das folhas, conhecido como “tip burn” ou “queima dos bordos” (Figura 12, C e D) e também necrose nos meristemas radiculares. Estes sintomas ocorrem por que o cálcio tem função essencial no crescimento meristemático, nas folhas, mas principalmente nas raízes.



Figura 12. Sintomas iniciais de amarelecimento (A); borda das folhas com manchas marrom e amarelecimento (B); necrose no meristema apical de folha e aspecto de roseta (C) e (D); nas plantas do TR. Fonte: Arquivo pessoal.

Ao final do ciclo do tratamento TR surgiram pequenas pontuações de coloração marrom foram observadas nas bordas das folhas mais velhas, sintoma condizente com a falta de potássio (Figura 12, B). Segundo Martinez & Clemente (2011) este nutriente está relacionado em vários processos fisiológicos, como crescimento celular, transporte de açúcares no floema e controle de turgescência das células, tendo forte influência na produtividade, qualidade final do produto. Todos os sintomas observados ao final do ciclo do tratamento TR, como a redução na massa fresca, a mal formação das raízes, a necrose das folhas, demonstram o resultado da quantidade insuficiente de nutrientes contidos na água de reúso.

Pacheco et al. (2011) descrevem estes mesmo sintomas em trabalho para caracterizar sintomas visuais de deficiências de macronutrientes em alface. Presume-se que não houve perda de plantas no TR devido ao tempo que as plantas ficaram no berçário com a solução nutritiva convencional e isto pode ter proporcionado uma absorção eficiente dos nutrientes nesta fase, uma vez que este período foi de 14 dias.

O crescimento das raízes e das folhas das plantas do TR tiveram prejuízos, caracterizados por menor desenvolvimento ao serem comparados com os demais tratamentos, TA e TRA (Figura 13 e Figura 14). Realizou-se a análise de variância dos tratamentos em relação aos resultados da massa fresca média por planta, e não foi

encontrada diferença significativa entre os blocos, porém entre os tratamentos a diferença foi significativa (Tabela 11).

O teste de Tukey a 5 % de probabilidade foi aplicado na média da massa fresca das plantas de cada tratamento (Tabela 12) e seus resultados apontam que não houve diferença significativa entre as médias dos tratamentos TA e TRA, porém a diferença destes com o tratamento TR foi altamente significativa ($p < 0,01$). Este resultado confirma o efeito negativo da falta de nutrientes e do pH alcalino sobre o crescimento das plantas, demonstrando que a água de reúso sem complementação de nutrientes é inviável para uso em hidroponia na cultura de alface.



Figura 13. Diferença visual entre as raízes dos diferentes tratamentos. Sistema radicular de planta do TR (A); sistema radicular de planta do TA (B); sistema radicular do TRA (C). Fonte: Arquivo pessoal.



Figura 14. Plantas de alface dos três tratamentos ao final do cultivo de verão, 21 dias após o transplante. Fonte: Arquivo pessoal.

Tabela 11. Análise de variância da massa fresca das amostras de plantas de alface de cada tratamento (g planta⁻¹) do cultivo de verão

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	3	189,52	63,17	0,3377 ns
Tratamentos	2	115653,73	57826,86	309,1024 **
Resíduo	6	1122,48	187,08	
Total	11	116965,74		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p > 0,01$); ns: não significativo ($p \geq 0,05$)

GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

Tabela 12. Valores médios da massa fresca de plantas de alface (g planta⁻¹) dos tratamentos do cultivo de verão

Massa fresca	TA	TRA	TR	CV %	Dms	P
Média (g planta ⁻¹)	330,68a	322,73a	118,57b	5,32	29,68	<0,01

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV%: coeficiente de variação entre os resultados de cada tratamento; Dms: diferença mínima significativa.

5.3.2 Cultivo de inverno

A análise química foliar dos tratamentos cultivados no período do inverno constam na Tabela 13, e também foram comparados com os teores considerados adequados segundo Raij et al., (1997).

Tabela 13. Resultados da análise química foliar dos tratamentos do cultivo de inverno

Tratamentos	Macronutrientes g kg⁻¹					
	N	P	K	Ca	Mg	S
TA	56	6,8	120,4	6	1,17	2,85
TRA	50	7,35	86,8	5,18	1,59	1,67
TR	30	2,65	25,6	5,03	1,65	1,11
	Micronutrientes g kg⁻¹					
	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
TA	0,006	0,013	0,7	0,15	0,05	
TRA	0,008	0,008	0,9	0,12	0,03	
TR	0,008	0,008	0,6	0,08	0,02	

Os teores de cálcio e magnésio para todos os tratamentos estão abaixo da faixa adequada, porém não foram observados sintomas visuais de deficiência nas plantas. A explicação para este resultado também está relacionada ao pH da solução nutritiva, que foi mantido muito próximo dos limites ideais para a cultura.

No tratamento cultivado apenas com água de reúso (TR) os teores de potássio, enxofre e zinco ficaram abaixo dos limites adequados, devido à baixa concentração dos mesmos na água de reúso. Apesar da análise química foliar do TR não apontar deficiências em todos os nutrientes os efeitos da falta de nutrientes refletiram em plantas com desenvolvimento reduzido, menor ganho de massa, em comparação com os demais tratamentos (Figura 15). Pode-se dizer também que o período em que as plantas foram aclimatadas no berçário proporcionou um acúmulo eficiente de nutrientes pelas plantas.



Figura 15. Plantas de alface dos três tratamentos ao final do cultivo de inverno, 27 dias após o transplântio. Fonte: Arquivo pessoal.

No tratamento TR as plantas também apresentaram sintomas iniciais de amarelecimento das folhas logo após o transplântio para o local do experimento, com conseqüente crescimento da parte aérea e das raízes mais lento em relação aos demais tratamentos.

Os resultados da análise de variância da massa fresca das amostras colhidas deste cultivo (Tabela 14) também apontou diferença significativa ($p > 0,01$) entre os tratamentos. Fez-se também o teste de Tukey a 5 % de probabilidade na média da massa fresca das plantas de alface de cada tratamento (Tabela 15) e seus resultados demonstram que não houve diferença significativa entre as médias das plantas dos

tratamentos TA e TRA, porém a diferença destas com o tratamento TR foi altamente significativa ($p < 0,01$).

A repetição do resultado da análise estatística em ambos os cultivos reforça a necessidade de correção dos teores de nutrientes na água de reúso, para não prejudicar a produção. E também demonstra que apesar das variações nas características químicas e físicas da água de reúso usada no TRA não houve influência na produção quando comparada ao TA.

Tabela 14. Análise de variância da massa fresca das amostras de plantas de alface de cada tratamento (g planta^{-1}) do cultivo de inverno

Causas de Variação	GL	SQ	QM	F
Blocos	3	391,09	130,36	1,4634 ns
Tratamentos	2	309483,65	154741,82	1737,0515 **
Resíduo	6	534,49	89,08	
Total	11	310409,24		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p > 0,01$); ns: não significativo ($p \geq 0,05$)

GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

Tabela 15. Valores médios da massa fresca de plantas de alface (g planta^{-1}) dos tratamentos do cultivo de inverno

Massa verde	TA	TRA	TR	CV %	Dms	P
Média ¹ (g planta^{-1})	464,11a	443,75a	113,71b	2,77	20,48	<0,01

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade. CV%: coeficiente de variação entre os resultados de cada tratamento; Dms: diferença mínima significativa.

Ao realizar a análise de variância da interação massa fresca das plantas de alface com os diferentes períodos cultivados observou-se que houve diferença significativa entre os períodos (Tabela 16). A diferença encontrada para todos os fatores de variação foi altamente significativa ($p > 0,01$).

Segundo Lopes et. al (2003), a alface é adaptada a clima mais ameno, sendo própria para o cultivo no inverno, quando atinge as maiores produções, como foi observado neste trabalho.

Tabela 16. Análise de variância da interação dos resultados da massa fresca das amostras de plantas de alface de cada tratamento com o período de cultivo (inverno e verão)

Causas de Variação	G.L	SQ	QM	F cal	F tab
Tratamentos (t)	2	401685,52	200842,75	2220,15**	99,39
Resíduo (a)	9	814,17	90,46	-	-
Parcelas	11	402499,69	36590,88	230,47**	4,63
Períodos (p)	1	41520,13	41520,12	261,52**	6,022
Interação (t x p)	2	23421,34	11710,67	73,76*	19,38
Resíduo (b)	9	1428,90	158,76	-	-
Total	23	468870,0565			

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p > 0,01$); * significativo ao nível de 5% de probabilidade ($p > 0,05$); GL: grau liberdade; SQ: soma de quadrados; QM: quadrado médio; F: estatística do teste F.

Ao avaliar os resultados em conjunto, pode-se afirmar que apesar da diferença encontrada entre os resultados da massa fresca das plantas dos tratamentos no período do inverno e verão, a diferença de temperatura (Figura 16 e Figura 17) entre os períodos contribuiu para este resultado. Nas Figuras 16 e 17 se encontram as temperaturas médias, máximas e mínimas para os dois cultivos, e também a faixa ideal reportada na literatura para a cultura de alface. Por ser uma planta de clima ameno, a alface pode apresentar problemas de pendoamento precoce, limitantes ao cultivo comercial, quando plantada em regiões com temperaturas médias superiores a 20°C, condições típicas do verão brasileiro (AGUIAR, 2001).

Segundo Feltrin et al. (2005), no verão caracterizado por altas temperaturas, que atingem 30°C durante o dia levam ao encurtamento do ciclo vegetativo, induzindo as plantas ao florescimento prematuro, resultando em plantas com redução da massa fresca total. É possível observar o encurtamento do cultivo de verão neste estudo, pois as plantas de alface atingiram o desenvolvimento adequado para a colheita aos 21 dias após o transplântio no local definitivo, enquanto que no cultivo de inverno se deu aos 27 dias após o transplântio no local definitivo. Essa diferença de seis dias reflete no ganho de massa fresca da cultura, principalmente pelo fato da alface ser uma planta de ciclo curto.

A água de reúso utilizada não teve nenhum efeito neste resultado, ao comparar o desempenho do TRA com o TA, pois em cada cultivo não foi encontrada diferença significativa entre ambos.

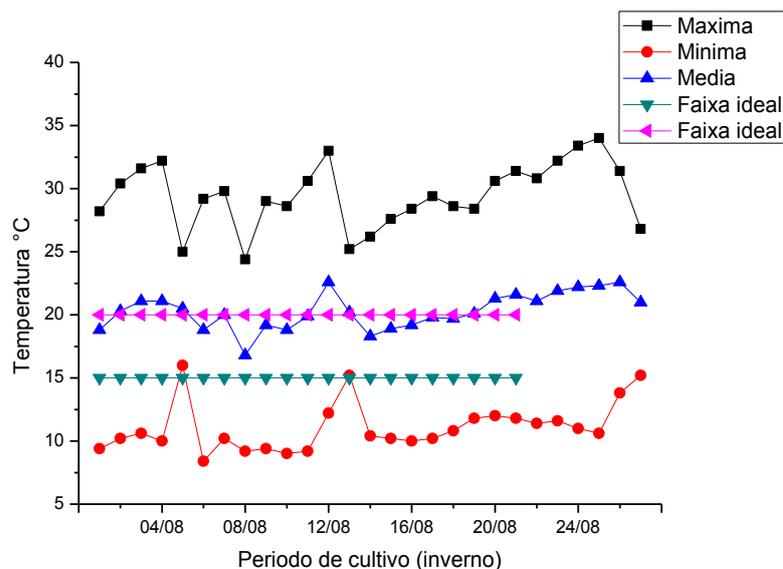


Figura 16. Valores da temperatura no Centro de Ciências Agrárias no período do cultivo de verão e faixa ideal para a cultura de alface

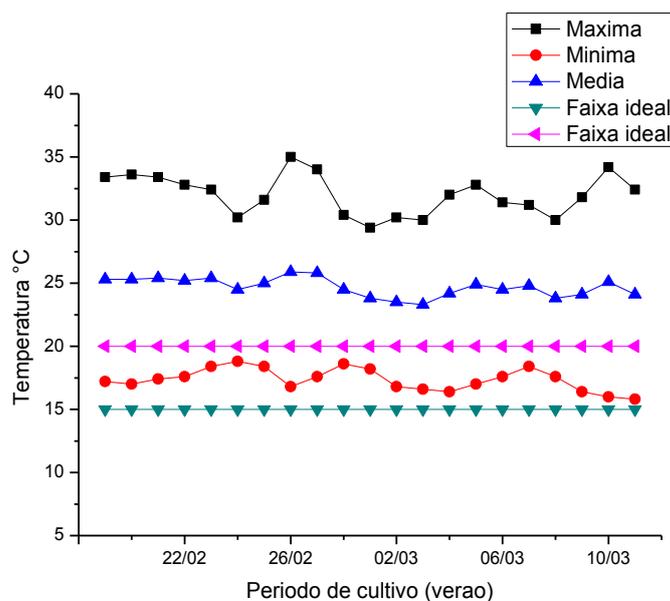


Figura 17. Valores da temperatura no Centro de Ciências Agrárias no período do cultivo de inverno e faixa ideal para a cultura de alface

Para o tratamento somente com água de reúso o principal fator limitante ao seu desenvolvimento foi a baixa quantidade de nutrientes e o pH da água de reúso, em ambos os períodos, neste caso essa limitação foi superior a influência da temperatura.

5.5 Análise microbiológica

A análise microbiológica indica as condições de higiene durante o cultivo e na manipulação das plantas de alface. No Brasil, pelo fato da prática do reúso para o

cultivo de hortaliças não ser permitida, não existem parâmetros microbiológicos máximos aceitos para tal condição. Portanto, para efeito de comparação foi usado como referência a Resolução RDC nº 12 de 02 de Janeiro de 2001, que estipula como padrões microbiológicos para hortaliças frescas, *in natura*, preparadas, sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para o consumo direto, limite máximo de 10^2 coliformes termotolerantes (ANVISA, 2001).

Para os coliformes totais não há padrão estabelecido, porém Varallo et al. (2011) afirmam que apesar da não existência de padrões federais para este grupo de bactérias em hortaliças, a presença em elevados índices demonstram condições higiênicas inadequadas na manipulação das plantas.

Os resultados para todos os tratamentos (Tabela 17) atendem ao padrão estabelecido pela RDC nº 12 de 02/01/2001 (ANVISA, 2001), que foram ausentes para a *E. coli*. Apesar de todas as amostras apresentarem coliformes totais, a contagem foi baixa. Resultado semelhante foi encontrado por Perin (2006) ao cultivar alface em sistema hidropônico com efluente oriundo de uma lagoa de polimento.

Tabela 17. Resultados da análise microbiológica das folhas das plantas de alface nos dois períodos de cultivo.

Cultivo de Verão		
Tratamentos	Coliformes totais (UFC¹ mL⁻¹)	<i>Escherichia coli</i> (UFC mL⁻¹)
TA	12	AU ²
TRA	88	AU
TR	94	AU
Cultivo de Inverno		
TA	11	AU
TRA	13	AU
TR	25	AU

¹UFC: Unidades formadoras de colônias; ² AU: Ausente

Apesar da presença da bactéria *E. coli* na água de reúso usada nos tratamentos TRA e TR, não foi encontrada presença da mesma nas análises microbiológicas realizadas. Isso provavelmente se deve pelo fato de não ter ocorrido o contato direto das folhas com o efluente, assim como os cuidados realizados durante a colheita na eliminação das raízes, de forma a não permitir seu contato com a parte aérea das plantas.

A eliminação das raízes das plantas de alface cultivadas em sistemas hidropônicos descaracteriza este produto, pois uma das formas de identificação deste produto pelo consumidor é a presença do sistema radicular. O fato da planta ser colhida com as raízes pode prolongar o tempo de prateleira, sendo este uma das vantagens apontadas do cultivo hidropônico em relação ao cultivo convencional, no qual as raízes são eliminadas na colheita. No cultivo hidropônico de alface com águas residuárias, para preservar as raízes após a colheita, sugere-se que o efluente usado passe por um processo de desinfecção. No caso de optar pela eliminação das raízes é interessante destacar na embalagem que o produto é originário de sistema hidropônico, e que contribui para a sustentabilidade com o reúso da água.

É importante ressaltar que não há uma legislação que permita o cultivo de hortaliças consumidas *in natura* com água de reúso, seja no sistema de plantio convencional ou em sistemas hidropônicos. As legislações em vigor em diversos países destacam a cultura e o método de irrigação, sendo necessário aliar também o sistema de cultivo. Para garantir a segurança à sistemas hidropônicos utilizando águas residuárias, o cultivo de hortaliças de frutos pode apresentar um potencial a ser explorado, uma vez que a parte comestível não tem proximidade com o sistema radicular.

6. Conclusões

Com os resultados deste trabalho é possível concluir nas condições experimentais que a aplicação de água de reúso como fonte alternativa de água para o cultivo hidropônico de alface mostrou-se satisfatória, não havendo prejuízo em termos de produção da cultura, desde que realizado um aporte nutricional, independente da época do ano. Além disso, os resultados sugerem uma economia de alguns fertilizantes em relação à solução nutritiva recomendada.

O uso da água de reúso como solução nutritiva alternativa, sem complementar com fertilizantes, não atende as necessidades da cultura, causando redução da massa fresca e deficiências nutricionais nas plantas, tornando-as fora dos padrões de comercialização.

A análise microbiológica das folhas das plantas indica que os perfis hidropônicos podem funcionar como uma barreira física para impedir o contato da parte comestível das plantas com o efluente usado na solução nutritiva, para as condições de manejo e manipulação utilizados, e eliminando o sistema radicular.

7. Sugestões para pesquisas futuras

O uso da água de reúso em hidroponia é tema relevante, que ainda carece de mais estudos para viabilizar a sua aplicação segura e principalmente para contribuir com a formulação de legislação adequada a este sistema de cultivo. Com base nos resultados obtidos neste estudo sugere-se alguns temas com potencial a ser explorado:

1. Testar outras culturas, incluindo hortaliças de frutos, espécies ornamentais de corte, mudas, usando este mesmo sistema.
2. Aplicar a água de reúso em hidroponia fazendo a correção apenas do pH, para que alcance o nível adequado para a cultura, podendo verificar se há uma melhor disponibilização dos nutrientes presentes no efluente;
3. Avaliar a possibilidade de redução da carga microbiológica presente no efluente ao ser utilizado em hidroponia;

8. Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil/Agência Nacional de Águas. Brasília: ANA, 2013. 432p.: Il. ISBN 978-85-882100-15-8. Disponível em <http://arquivos.ana.gov.br/institucional/spr/conjuntura/webSite_relatorioConjuntura/projeto/index.html> Acesso em 07 jul. 2014.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução – RDC nº. 12, de 02 de janeiro de 2001.** Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/wps/wcm/connect/a47bab8047458b909541d53fbc4c6735/RDC_12_2001.pdf?MOD=AJPERES>. Acesso em: 10 fev. 2013.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standards **Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 22^a ed. 2012.

AL-ZBOON, K., AL-ANANZEH, N. Performance of wastewater treatment plant in Jordan and suitability for reuse. *African Journal of Biotechnology*, 2008, 7(15), 2621–2629. Disponível em <<http://www.ajol.info/index.php/ajb/article/download/59109/47415>> Acesso em 05 de fevereiro, 2014.

AGUIAR, R. G. **Comportamento de famílias F2:3 de alface (*Lactuca sativa* L.), originadas de cruzamento entre cultivares contrastantes quanto a características vegetativas e pendoamento precoce.** Dissertação (M.S) de mestrado– Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2001. 43 p.

AZEVEDO, M.; KONIG, A.; BELTRÃO, N.; AZEVEDO, C.; TAVARES, T.; SOARES, F.. Efeito da irrigação com água residuária tratada sobre a produção de milho forrageiro. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias (Agrária) Brazilian Journal of Agricultural Sciences**, América do Norte, v.2, 2007, p.63- 68.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade de água na agricultura. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 1999. 153 p. (FAO – Estudos Irrigação e Drenagem, 29).

BACKES, F. A. A. L.; SANTOS, O. S. S.; PILAU, F. G.; BONNECARRÈRE, R. A. G.; MEDEIROS, S. L. P.; FAGAN, E. B. Reposição de nutrientes em solução nutritiva para o cultivo hidropônico de alface. *Ciência Rural*, 34(5), 2004, p. 1407-1414. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/cr/v34n5/a13v34n5.pdf> > Acesso em 27 de maio, 2014.

BASTOS, R. K. X. Fertirrigação com águas residuárias. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.) *Fertirrigação: Citrus, flores e hortaliças*. Guaíba: Agropecuária, 1999, 279 p.

BEEKMAN, G. B. **Qualidade e conservação da água.** In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, Brasília, 1996.

BOND, W.J. Effluent irrigation – an environmental challenge for soil science. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v.36, 1998, p.543-555.

BONINI, M. A.; SATO, L. M.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C. F. Alterações nos atributos químico e físicos de um Latossolo Vermelho irrigado com água residuária e vinhaça. *Revista Biociências (Taubaté)*, v. 20, 2014, p. 56-63.

BOYDEN, B.H.; RABABAH, A.A. **Recycling nutrients from municipal wastewater.** Desalination. v.106, n.1-3, 1996, p. 241-246.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; MIARZWA, J. C.; BARROS, M. T. L. de.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; ELGER, S. **Introdução à engenharia ambiental: o desafio do desenvolvimento sustentável**, 2005. São Paulo : Prentice Hall - 2ª edição.

BREGA FILHO, D.; MANCUSO, P.C.S. Conceito de reuso de água. In: MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. dos. **Reuso 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 waste. **Australian Journal of Soil Research**, Sidney, v.35, 1997, p.995-1035.

CASTELLANE, P. D.; ARAÚJO, J. A. C. **Cultivo sem solo: hidroponia.** Faculdade de Ciências Agrônômica e Veterinária, Jabotical, FUNEP, 1995, 43 p.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. de. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. *Bahia agrícola*, vol 7, nº 1, 2005, p. 57- 60.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB). Orientação para apresentação de projeto visando a aplicação de água de reuso proveniente de estação de tratamento de esgoto doméstico na agricultura. Aplicação de água de reuso de ETE na agricultura. São Paulo, 2001, 11 p. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/publicacoes.asp> > Acesso em: mai. 2014.

COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO (CETESB, 2011). **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**, São Paulo: CETESB; Brasília, ANA, 2011, 326 p.: il. Disponível em <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/publicacoes/guia-nacional-coleta-2012.pdf> > Acesso em: set. 2013.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução 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.

FAO – **Wastewater treatment and use in agriculture**. Irrigation and Drainage Paper n.47 Roma, Itália: FAO, 1992. 125 p.

FEING, A.; RAVINA, I.; SHALHEVET, J. Irrigation with treated sewage effluent: management for environmental protection. Berlin: **Springer-Verlag**, 1991, p.224.

FELIZATTO, M. R. ETE CAGIF: projeto integrado de tratamento avançado e reuso direto de águas residuárias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., João Pessoa. **Anais** [CD-ROM]. João Pessoa – PB: ABES, 2001.

FELTRIN, A. L.; CECÍLIO FILHO, A. B.; BRANCO, R. B. F.; BARBOSA, J. C. & SALATIEL, L. T. Produção de alface americana em solo e em hidroponia no inverno e no verão, em Jaboticabal, SP. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, 2005, p.505-509. Disponível em <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v9n4/v9n4a10.pdf>> Acesso em 25 de set. 2014.

FINLEY, S. **Reuse of Domestic Greywater for the Irrigation of Food Crops**. Thesis submitted to McGill University - Department of Bioresource Engineering, 2008, 71p.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R.K.X.; AISSE, M.M. Tratamento e utilização de esgotos sanitários. Rio de Janeiro: ABES, 2006. 426p.

FONSECA, A. F.; HERPIN, U.; PAULA, A. M.; VICTÓRIA, R. L.; MELFI, A. J. Agricultural use of treated sewage effluents: agronomic and environmental implications and perspectives for Brazil. *Scientia Agricola*, Piracicaba, Brasil, v.64, n.2, 2007, p.194-209.

FURLANI, P.R. Hydroponic vegetable production in Brazil. *Acta Horticulturae*, ageningen, v.2, n.481, 1999, p.777-778.

GHISI, E. "Potential for Potable Water Savings by Using Rainwater in the Residential Sector of Brazil". *Building and Environment*, v. 41, n. 11, 2006, p. 1544-1550.

GIORDANO, G. Remoção de Cor em Efluentes Industriais. In: CD-ROM – 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 1, 1999, 01-15.

GOMES, L.; MARTINS, C.; NOGUEIRA, N.; LOPES, F.; XAVIER, T.; CARDOSO, L. Efeito de diferentes valores de pH da solução nutritiva no desenvolvimento de variedades de melão. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v.6, 2011, p. 73-78.

GONÇALVES, R. F. *Uso Racional da Água em Edificações*, 2006. Rio de Janeiro: Abes.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso de água no Brasil – agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, 2002, p.75-95.

HESPANHOL, I. Um novo paradigma para a gestão de recursos hídricos. *Estudos avançados*, v.22, n. 63, 2008, p 137-158.

IDEC - INSTITUTO BRASILEIRO DE DEFESA DO CONSUMIDOR; MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE; MEC - MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO; Consumers International. **Consumo sustentável: Manual de educação**. Brasília. 2005. Disponível em http://www.idec.org.br/uploads/publicacoes/publicacoes/Manual_completo.pdf Acesso em: 14 abr. 2013.

IDEXX Laboratories Inc.. **Cartilha explicativa do método colilert, Tecnologia do Substrado Definido**. Disponível em <https://www.idexx.com/resource-library/water/colilert-procedure-en.pdf> Acesso em: 25 mar. 2013.

JEWELL, W. Resource-recovery wastewater treatment (combined anaerobic treatment of primary sewage with hydroponic secondary tertiary treatment). *Ambient Scientific*, n.82, 1994, p.366-375 [apud Rababah, A. Hydroponics removal of wastewater's contaminants for the generation of commercially valuable plants and environmentally sound effluent for the dead sea communities. **Jordan Journal of Civil Engineering**, v.1, n.3, p.273-286, 2007.

KELLER, R.; PERIN, K.; SEMIONATO, S.; ZANDONADE, E.; CASSINI, S.; GONÇALVES R. F. Hydroponic cultivation of lettuce (*Lactuca sativa*) using effluents from primary, secondary and tertiary + UV treatments. **Water Science and Technology: Water Supply**, v.5, n.1, 2005, p.95- 100.

LAZAROVA, V. et al. **Enhancement of Integrated Water Management and Water Reuse in Europe and Middle East**. *Water Science and Technology*, vol. 42, n. 1-2, 2000, p. 193-202.

LONDERO, F.A.A.; AITA, A. Comercialização de alface hidropônica. In: SANTOS, O. **Hidroponia da Alface**. Santa Maria: UFSM, 2000, p.145-152.

LOPES, M.C.; FREIER, M.; MATTE, J.C.; GÄRTNER, M.; FRANZENER, G.; NOGAROLLI, E.L.; SEVIGNANI, A. Acúmulo de nutrientes por cultivares de alface em cultivo hidropônico no inverno. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 21, n. 2, 2003, p. 211-215.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. dos. **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2003. 576 p.

MALHEIROS, S. M. M; SILVA, E. F. F.; MEDEIROS, P. R. F.; PEDROSA, E. M. R.; ROLLM, M. M. & SANTOS, A. A. Cultivo hidropônico de tomate cereja utilizando-se de efluente tratado de uma indústria de sorvete. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 10, 2012, p. 1085-1092.

MARECOS DO MONTE, M. H. **Contributo para a utilização de águas residuais tratadas para irrigação em Portugal, Lisboa**. Universidade Técnica de Lisboa,

Instituto Superior Técnico. Tese para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil. 1994.

MARTINEZ, E. P. **Formulações de soluções nutritivas para cultivos hidropônicos comerciais**. Editora Afiliada. Faculdade de Ciências Agrônômica e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, 1999.

MARTINEZ, E. P. **O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa**. (Cadernos didáticos), Editora UFV, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa - MG, 2002.

MARTINEZ, H.E.P. **Manual prático de hidroponia**. Viçosa: UFV. 2006. 271p.

MARTINEZ, H. P.; CLEMENTE, J. M. O uso do cultivo hidropônico de plantas em pesquisa. Viçosa: UFV, 2011, 76 p.

MARTINEZ, H.E.P.; SILVA FILHO, J. B. da. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. Viçosa: UFV. 2. ed. 2004, 111 p.

MARTÍNEZ, S.; SUAY, R.; MORENO, J.; SEGURA, M.L. Reuse of tertiary municipal wastewater effluent for irrigation of *Cucumis melo* L. **Irrigation Science**, v.31, 2013, p.661–672.

MELO, H. N. S.; MELO FILHO, C; PEREIRA, M. G; OLIVEIRA, F. K. D; ANDRADE NETO, C. O. Uso de esgoto doméstico tratado em filtros anaeróbios como fonte de macro e micronutrientes para cultivos hidropônicos. Vitória: PROSAB, 2002.

MUFFAREG, M. R. **Análise e Discussão dos Conceitos e Legislação Sobre Reúso de Águas Residuárias**. Dissertação apresentada com vistas à obtenção do título de Mestre em Ciências na área de Saúde Pública. Ministério da Saúde. Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública. Rio de Janeiro, 2003.75p.

NANNINGA, T. A.; BISSCHOPS, I.; LÓPEZ, E.; RUIZ-MARTÍNEZ, J. L.; MURILLO, D.; ESSL, L.; STARKL, M. Discussion on sustainable water technologies

for peri-urban areas of Mexico city: balancing urbanization and environmental conservation. *Water* 2012, 4, 739-758.

NOGUEIRA, A. R. A.; SOUZA, G. B. Manual de laboratórios: solo, água, nutrição vegetal, nutrição animal e alimentos. São Carlos: Embrapa Pecuária Sudeste, 2005. 313p.

NUVOLARI, A. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. Ed. Edgard Blücher, ed. 1ª. São Paulo, 2003. 520p

OTTOSON, J.; NORSTRO, A.; DALHAMMAR, G. Removal of micro-organisms in a small-scale hydroponics wastewater treatment system. *The Society for Applied Microbiology, Letters in Applied Microbiology*. n. 40, 2005, p. 443–447.

OYAMA, N., NAIR, J. and HO, G. E. Utilising an integrated wastewater hydroponics system for small scale use. *Water and Environmental management series*, 2008, p. 13-23.

PACHECO, J. B.; MACHADO, A. L. S. Serviços ecossistêmicos e o ciclo hidrológico da bacia hidrográfica amazônica- the biotic pump. *Revista GEONORTE*, v. 1, n. 1, 2010, p. 71-89. Disponível em <http://www.revistageonorte.ufam.edu.br/attachments/007_Servi%C3%A7os%20ecossist%C3%AAmicos.pdf> Acesso 14 mar. 2014.

PACHECO, S.M.L.; RODRIGUES, M.A.; BIANCO M.S.; CECÍLIO FILHO, A.B.; GAION, L.A. Caracterização de sintomas visuais de deficiências de macronutrientes em alface. *Horticultura Brasileira* 29, 2011. Disponível em <http://www.abhorticultura.com.br/eventosx/trabalhos/ev_5/A3788_T5955_Comp.pdf> Acesso em 01 jul. 2014.

PAZ, V. P. da S.; TEODORO, R. E. F.; MENDONÇA, F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. Campina Grande: **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 3, dez, 2000.

PERIN, K. **Reúso de efluente de lagoa de polimento no cultivo de alface hidropônica (*Lactuca sativa* L.) e de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico. Vitória, 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**, 2011, v.192.

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.

PULSHEN, A.; GOMES, M.P.M.; BASTOS, R. G.; SOUZA, C.F. Tratamento biológico de efluentes sanitários em ETE mista. In: III Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, 2013, São Pedro. Anais do III SIGERA, 2013.

RABABAH, A.; ASHBOLT N. J. Innovative production treatment hydroponic farm for primary municipal sewage utilisation. *Water Research.*, Sydney, v.34, n.3, 2000, p.825-834.

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 Agronômico, 1997. 285 p. **Boletim Técnico n. 100.**

REISSER Jr., C. **Evapotranspiração da alface (*Lactuca sativa* L.) em estufa plástica e ambiente natural.** Dissertação de Mestrado. Santa Maria: UFSM, 1991. 78 p.

RESENDE, F. V.; SAMINÊZ, T. C. O.; VIDAL, M. C.; SOUZA, R. B. de; CLEMENTE, F. M. V. Cultivo do alface em sistema orgânico de produção. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. 16 p. (Embrapa Hortaliças. Circular Técnica, 56). Disponível em<

http://www.cnph.embrapa.br/organica/pdf/circular_tecnica/cultivo_alface_organico.pdf

> Acesso em 25 de jul. 2014.

RESH, H. M. **Cultivos hidropônicos**. 4ª Ed. Ediciones Mund-Prensa, Madrid, 1997. 509p.

RIBEIRO, M. C. F.; ROCHA, F. A.; SANTOS, A. C.; SILVA, J. O.; PEIXOTO, M. F. S. P. & PAZ, V. P. S. Crescimento e produtividade da mamoneira irrigada com diferentes diluições de esgoto doméstico tratado. Campina Grande: Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.16, n.6, 2012, p. 639-646.

RODRIGUES, L. F. R. Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido. Jaboticabal: FUNEP, 2002. 762 p.

SALA, F. C.; COSTA, C. P. Retrospectiva e tendência da alfacicultura brasileira. Hort. Bras., v. 30, n. 1, 2012. p. 187-194.

SANT'ANNA, A. S.; SILVA, S. C. F.; FARANI, I. O.; AMARAL, C. H. R.; MACEDO, V. F. Qualidade microbiológica de águas minerais. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23(supl.), 2003, 190-194.

SANTOS, O.S. Conceito, histórico e vantagens da hidroponia. In: SANTOS, O. **Hidroponia da alface**. Santa Maria: UFSM, 2000. p.5-9.

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.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.30, n.4, 2010.

SETZER, J. Atlas climático e ecológico do Estado de São Paulo. Comissão interestadual da Bacia Paraná- Uruguai, São Paulo, 1967.

SOUSA, J. T.; CEBALLOS, B. S. O.; HENRIQUE, I. N.; DANTAS, J. P.; LIMA, S. M. S. Reúso de água residuárias na produção de pimentão (*Capsicum annum* L.). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.10, n.1, 2006, p.89 -96.

TEIXEIRA, N. T. **Hidroponia**: uma alternativa para pequenas áreas. Guaíba-RS: Agropecuária, 86p. 1996.

TUNDISI, J. G. Recursos hídricos no futuro: problemas e soluções. Estudos avançados 22 (63), 2008. Disponível em <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-40142008000200002&script=sci_arttext> Acesso em 25 de maio 2013.

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 reuso comparada com amostras comercializadas. **Ambi-Água**, Taubaté, v.6, n.2, 2011, p.295-304.

von SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de águas Residuárias: Vol. 1- Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 2ª Ed. Belo Horizonte, DESA- Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 1996, 243p.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. Global strategy for food safety: safer food for better health. 2002. Disponível em <<http://whqlibdoc.who.int/publications/9241545747.pdf>> Acesso em 10 dez. 2013.

APÊNDICES

APÊNDICE A- Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da água de reúso utilizada no cultivo hidropônico do período de verão.

Parâmetros	Resultados das análises					
	1°	2°	3°	4°	Média	Desvio padrão
pH	7,83	8,00	8,31	8,24	8,10	0,22
CE (dS m ⁻¹)	0,50	0,40	0,50	0,50	0,48	0,05
DBO ₅ ²⁰ (mg L ⁻¹)	18,00	16,50	21,70	18,00	18,55	2,21
OD (mg L ⁻¹)	4,10	4,40	3,80	4,20	4,12	0,25
Turbidez (NTU)	5,14	4,68	4,95	4,90	4,92	0,12
NTK ¹ (mg L ⁻¹)	1,40	50,00	75,00	49,00	43,85	30,75
P (mg L ⁻¹)	2,70	7,40	2,45	9,85	5,60	3,63
K (mg L ⁻¹)	33,58	10,00	4,00	5,00	13,15	13,87
Ca (mg L ⁻¹)	18,50	6,35	3,73	2,29	7,72	7,38
Mg (mg L ⁻¹)	5,68	3,03	1,01	2,90	3,16	1,92
S (mg L ⁻¹)	35,30	29,70	28,15	39,40	33,14	5,18
Na (mg L ⁻¹)	49,00	53,00	55,00	51,00	52,00	2,58
Coliforme totais NMP ^{2*} 100 mL ⁻¹	NR ³	NR	NR	2,42x10 ³	-	-
<i>Escherichia coli</i> NMP* 100 mL ⁻¹	NR	NR	NR	1,51x10 ²	-	-

¹ Nitrogênio total kjeldahl; ² Número mais provável; ³ Não realizado; * Não há desvio padrão para estes parâmetros.

APÊNDICE B- Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da água de reúso utilizada no cultivo hidropônico do período de inverno.

Parâmetros	Resultados das análises					
	1°	2°	3°	4°	Média	Desvio padrão
pH	7,27	7,24	7,53	7,50	7,38	0,15
CE (dS m ⁻¹)	0,76	0,64	0,88	0,61	0,72	0,12
DBO ₅ ²⁰ (mg L ⁻¹)	34,50	47,90	33,50	53,30	42,3	9,84
OD (mg L ⁻¹)	2,06	2,41	2,24	2,69	2,35	0,27
Turbidez (NTU)	25,04	25,33	17,53	17,44	21,35	4,45
NOT ¹ (mg L ⁻¹)	32,83	19,96	21,90	20,49	23,8	6,08
P (mg L ⁻¹)	7,70	6,60	3,90	2,10	5,08	2,55
K (mg L ⁻¹)	13,00	19,00	5,00	21,00	14,5	7,19
Ca (mg L ⁻¹)	57,00	58,50	55,68	22,39	48,39	17,37
Mg (mg L ⁻¹)	25,40	10,38	6,70	3,43	11,39	9,53
S (mg L ⁻¹)	84,40	2,33	17,52	11,31	28,89	37,53
Na (mg L ⁻¹)	49,00	106,00	8,00	49,00	53	40,27
RAS ²	2,39	4,13	6,23	4,84	4,39	1,59
Coliforme totais NMP ^{2*} 100 mL ⁻¹	NR ³	NR	NR	2,42x10 ³	-	-
<i>Escherichia coli</i> NMP* 100 mL ⁻¹	NR	NR	NR	2,42x10 ³	-	-

¹ Nitrogênio total kjeldahl; ² Número mais provável; ³ Não realizado; * Não há desvio padrão para estes parâmetros.

APÊNDICE C- Resultados massa fresca (g planta⁻¹) das amostras de alface das parcelas dos tratamentos no cultivo de verão e inverno.

Tratamentos	Amostras da massa fresca (g planta ⁻¹) do cultivo verão				
	Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Média
TA	311,23	327,47	341,67	342,37	330,68
TRA	325,93	333,56	303,63	327,83	322,74
TR	115,03	119,83	127,9	111,62	118,57
Amostras da massa fresca (g planta ⁻¹) do cultivo inverno					
TA	479,23	440,56	466,83	469,83	464,11
TRA	443,67	436,06	448,57	446,7	443,75
TR	113,27	115,87	111,3	114,43	113,71