

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**Kamila Perin**

**Reúso de Efluente de Lagoa de Polimento no Cultivo de  
Alface Hidropônica (*Lactuca sativa* L.) e de Plantas de  
Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).**

**Vitória**  
**2006**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**Kamila Perin**

**Reúso de Efluente de Lagoa de Polimento no Cultivo de  
Alface Hidropônica (*Lactuca sativa* L.) e de Plantas de  
Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de mestre em Engenharia Ambiental.

**Orientadora: Prof. Dr<sup>a</sup>. Regina de  
Pinho Keller**

Vitória  
2006



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO  
CENTRO TECNOLÓGICO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**Reúso de Efluente de Lagoa de Polimento no Cultivo de  
Alface Hidropônica (*Lactuca sativa* L.) e de Plantas de  
Feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).**

Kamila Perin

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do Grau de mestre em Engenharia Ambiental.

**Comissão Examinadora**

---

Prof. Dr<sup>a</sup>. Regina de Pinho Keller  
Orientadora - UFES

---

Prof. Dr. Sérgio Túlio Alves Cassini  
Examinador Interno – UFES

---

Prof. Dr. José Marques Júnior  
Examinador Externo – UNESP

Dados Internacionais de Catalogação-na-publicação (CIP)  
(Biblioteca Central da Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil)

---

P445r Perin, Kamila, 1978-  
Reúso de efluente de lagoa de polimento no cultivo de alface hidropônica (*Lactuca sativa* L.) e de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) / Kamila Perin. – 2006.  
165 f. : il.

Orientadora: Regina de Pinho Keller.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

1. Águas residuais. 2. Lagoas de estabilização. 3. Alface. 4. Feijão comum. I. Keller, Regina de Pinho. II. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro Tecnológico. III. Título.

CDU: 628

---

*“O correr da vida embrulha tudo. A vida é assim: esquenta, esfria, sossega e depois desinquieta. Aperta e daí afrouxa. O que ela quer da gente é coragem...”*

*João Guimarães Rosa*

# ***Agradecimentos***

- ★ A Deus, por manter meu caminho sempre iluminado.
- ★ Aos meus pais Sônia e Jaldemar, pelo “paitrocínio”, por terem sido os principais incentivadores, pela atenção, apoio e principalmente pela vida.
- ★ Às minhas irmãs Keila e Karla e a toda minha família por estarem sempre presentes em minha vida.
- ★ À Bia do meu coração. Obrigada por dividir tudo comigo!!!
- ★ À minha orientadora Regina de Pinho Keller pela motivação, conhecimentos que me foram transmitidos e competência profissional.
- ★ Aos professores Sérgio Túlio Alves Cassini e Ricardo Franci Gonçalves pelos bons conselhos e pela contribuição para o meu crescimento na formação científica.
- ★ A todos os que foram meus “filhos”, Marjorye, Claudia, Amaury, Vinícius, Camila, Adriana, Giselle, Lílian, Felipe, Cynthia e Adalgisa, os quais se empenharam na obtenção de muitos resultados e descobertas desta pesquisa, suportaram meu ritmo intenso e que foram meus verdadeiros companheiros!
- ★ À minha grande amiga Lígia, cuja serenidade e incansável apoio dão a minha vida uma luz especial!

- ★ À Simone pela sincera amizade, pelos conselhos e por fazer mais felizes meus dias no LABSAN!
- ★ Ao Incaper e sua equipe de técnicos, pesquisadores e estagiários pela parceria na execução desta pesquisa. Aureliano, João, Renata, Márcia, Flávio, André e Prezotti obrigada por tudo, eu aprendi muito com cada um de vocês!
- ★ À Eliana Zandonade pela colaboração, conhecimentos estatísticos transmitidos e imensa generosidade.
- ★ Ao José Marques Júnior pela presença em minha banca examinadora e contribuição técnica.
- ★ A todos os amigos do LABSAN e do PPGEA pelo companheirismo e auxílio para a concretização deste trabalho.
- ★ Ao Núcleo água pelo suporte dado a esta pesquisa.
- ★ Ao PROSAB e CNPq pelo apoio financeiro concedido.

# Resumo

Buscou-se na presente pesquisa avaliar a qualidade sanitária e a produtividade de alfaces hidropônicas (*Lactuca sativa* L.), bem como o desenvolvimento de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivadas em casa de vegetação com efluentes tratados pelo sistema RAC + lagoa de polimento + pós-tratamento físico-químico. Foram realizados dois cultivos hidropônicos, sendo que o primeiro foi no período de verão e o segundo no inverno. Os tratamentos utilizados foram: solução nutritiva convencional (T1), efluente de pós-tratamento físico-químico (T2), efluente de lagoa de polimento (T3) e efluente de lagoa de polimento diluído 50% (T4). Com relação às análises microbiológicas, os níveis de contaminação encontrados nas alfaces, em ambos os cultivos, foram inferiores ao estabelecidos pela ANVISA, resultando em hortaliças próprias para o consumo. No cultivo de verão, os tratamentos T1 e T2 obtiveram maior produção em relação a T3 e T4, que apresentaram reduzido desenvolvimento radicular e foliar devido a grande quantidade de algas presente no efluente da lagoa nessa época do ano, que agregaram-se nas raízes das alfaces dificultando sua oxigenação. Já no cultivo de inverno, realizado em épocas com temperaturas mais amenas, a concentração de algas na lagoa só influenciou no crescimento das alfaces fertirrigadas com efluente da lagoa de polimento não diluído. Os tratamentos T2 e T4 apresentaram valores de produção semelhantes a T1. Em ambos os cultivos, os teores dos macronutrientes detectados na parte aérea das alfaces assemelham-se aos citados na literatura, para estudos semelhantes, enquanto alguns micronutrientes encontraram-se acima dos teores referenciais, não causando, entretanto, nenhum efeito fitotóxico visível nas plantas. Os feijoeiros foram semeados em vasos e irrigados com os tratamentos: adubação química + irrigação com água (T1), efluente de lagoa de polimento a 25% (T2), efluente de lagoa de polimento a 50% (T3), efluente de lagoa de polimento a 75% (T4) e efluente de lagoa de polimento a 100% (T5). Não houve diferença significativa entre os tratamentos utilizados para a maioria dos caracteres analisados nas plantas de feijão (altura, massa fresca e seca da parte aérea e da raiz e nutrientes), com exceção da concentração de N na parte aérea das plantas, que foi maior nos feijoeiros irrigados com T5. Cultivos hidropônicos de alfaces com efluentes de lagoas de polimento, quando realizados no período de verão, necessitam de um tratamento complementar devido a grande quantidade de sólidos e algas presentes nesse efluente. Nesse sentido, o tratamento físico-químico do efluente da lagoa, por apresentar um bom desempenho na remoção de matéria particulada, é necessário durante o período de verão para promover um crescimento semelhante das plantas cultivadas com esse efluente comparadas às irrigadas com solução nutritiva convencional. Enquanto que os cultivos hidropônicos de alfaces realizados no período de inverno podem ser realizados com efluente diluído 50% produzindo plantas semelhantes àquelas cultivadas com solução nutritiva convencional e com efluente pós-tratamento físico-químico. Com relação aos experimentos com as plantas de feijão, o efluente da lagoa de polimento mostrou-se eficiente em substituir totalmente a água de irrigação. Entretanto, foi parcialmente eficiente no atendimento das necessidades nutricionais mínimas para o completo desenvolvimento dos feijoeiros, sendo necessário, portanto, uma correção na composição dos efluentes.

# **Abstract**

The main objective from this study is to evaluate the sanitary quality and productivity of hydroponic lettuce (*Lactuca sativa* L.) and bean plants cultivated under greenhouse conditions and treated with effluent from RAC + polishing pond followed by physical-chemical treatment. Two hydroponic cultivation were performed at summer and winter time at Vitoria-ES, Brazil. The treatments for both cultivation were T1) conventional nutrient solution; T2) effluent from physical-chemical treatment; T3) effluent form polishing pond and T4) effluent form polishing pond with 50% dilution. For each treatment the plants were evaluated for colimetry, productivity, root system. The microbiological analyses performed by colimetry essays, showed no significant contamination as compared with the brazilian Legislation (ANVISA) resulting in lettuce plants with proper consuming levels. In the experiments from summer season, the treatments T1 and T2 resulted higher production as related to T3 and T4 treatments. These former treatments T3 and T4 presented a less developed root system as a result from the higher algae biomass content from the polishing pond effluent. These higher algae biomass promoted a higher aggregation around the root system difficulty the oxygenation levels and proper physiology function. The In the winter season, the algae biomass effect was pronounced only in the T3 treatment with the effluent of polishing pond not diluted. Te means values of T3 and T4 was similar to T1. For both cultivation the macronutrients content in the shoot system of the plants was similar to literature data except for the case of micronutrients while no toxic effect were detected. The experiment with bean plants were performed at greenhouse with growth jar under the following treatments: T1) chemical nutrient supply and water irrigation; T2) pond effluent at 25%; T3) pond effluent 50% dilution; T4) pond effluent 75%; T5) pond effluent at 100% (no dilution). No significant difference were detected among the treatments for the majority of parameters analyzed in the bean plants (height, fresh matter, dry mass for shoot and root systems) except for N content for the shoot system of bean plants cultivated with the 100% polishing effluent (T5). Hydroponic cultivation of Lettuce plants with pond effluent, at summer season, requires a physical-chemical post treatment of pond effluent in order to inhibit the great algae concentration on the root system as compared with conventional irrigation. In the winter season the hydroponic production of Lettuce was achieved at 50% dilution of pond effluent as compared with the conventional irrigation and physical-chemical treatment. In the case of bean plants, the cultivation with effluent was not able to supply all the nutrients for the pants, requiring a correction in the effluent solution for bean plants.

# ***Sumário***

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>   | <b>26</b> |
| <b>2. OBJETIVOS .....</b>  | <b>29</b> |
| 2.1 Objetivo Geral .....   | 29        |
| 2.2 Objetivo Específico .....  | 29        |
| <b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>                                    | <b>31</b> |
| 3.1 Escassez hídrica X reúso de efluentes .....                          | 31        |
| 3.1.1 Tipos de reúso .....   | 33        |
| 3.1.2 Reúso na agricultura .....   | 34        |
| 3.1.3 Qualidade físico-química da água para reúso na agricultura .....   | 38        |
| 3.1.4 Qualidade microbiológica da água para reúso na agricultura .....   | 40        |
| 3.1.5 Legislação relativa ao reúso de água aplicada na irrigação .....   | 43        |
| 3.2 Qualidade microbiológica dos alimentos irrigados com efluentes ..... | 46        |
| 3.3 Tratamento de efluentes sanitários .....                             | 48        |
| 3.3.1 Reator anaeróbio compartimentado .....                             | 49        |
| 3.3.1.1 Associação entre UASB e lagoa de polimento .....                 | 51        |
| 3.3.2 Lagoas de estabilização .....                                      | 52        |
| 3.3.2.1 Lagoas de polimento .....  | 55        |

|  |           |
|--|-----------|
| 3.3.3 Pós-tratamento do efluente de lagoas .....   | 58        |
| 3.4 Cultivo hidropônico com utilização de efluentes sanitários .....   | 59        |
| 3.4.1 Técnica do fluxo laminar de nutrientes (NFT) .....   | 61        |
| 3.5 A cultura da alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.) .....  | 65        |
| 3.6 Cultivo de plantas de feijão ( <i>Phaseolus vulgaris</i> L.) .....   | 67        |
| <br>   |           |
| <b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>   | <b>71</b> |
| <br>   |           |
| 4.1 Considerações gerais .....   | 71        |
| 4.2 Cultivo hidropônico de alface e de plantas de feijão com efluentes<br>provenientes do sistema de tratamento RAC + lagoa de polimento + pós-<br>tratamento físico-químico ..... | 71        |
| 4.2.1 Estudo piloto com alfaces hidropônicas irrigadas com efluente .....  | 71        |
| 4.2.2 Descrição do sistema de tratamento RAC + lagoa de polimento + pós-<br>tratamento físico-químico .....  | 72        |
| 4.2.2.1 Pré –tratamento .....  | 72        |
| 4.2.2.2 Reator anaeróbio compartimentado .....   | 73        |
| 4.2.2.3 Lagoa de polimento .....   | 74        |
| 4.2.2.4 Sistema de pós-tratamento físico-químico .....   | 75        |
| 4.2.3 Monitoramento do sistema de tratamento RAC + lagoa de polimento +<br>pós-tratamento físico-químico .....   | 77        |
| 4.2.3.1 Amostragem simples .....   | 77        |
| 4.2.3.2 Amostragem composta .....  | 78        |
| 4.2.3.3 Análise de metais .....  | 78        |
| 4.2.3.4 Metodologia de análise .....   | 78        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.2.3.5 Análise estatística .....  | 81        |
| 4.2.4 Experimentos hidropônicos .....  | 81        |
| 4.2.4.1 Casa de vegetação .....  | 81        |
| 4.2.4.2 Sistema hidropônico .....  | 82        |
| 4.2.4.3 Delineamento experimental .....  | 83        |
| 4.2.4.4 Solução nutritiva .....  | 84        |
| 4.2.4.5 Plantio e irrigação das sementes de alface .....   | 85        |
| 4.2.4.6 Monitoramento das soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação .....          | 87        |
| 4.2.4.7 Procedimento de coleta das amostras .....  | 87        |
| 4.2.4.8 Análises microbiológicas da parte aérea das alfaces .....                                    | 88        |
| 4.2.4.9 Avaliações agronômicas .....   | 88        |
| 4.2.4.10 Análise dos nutrientes da parte aérea das alfaces .....                                     | 89        |
| 4.2.4.11 Análise das microalgas e dos sólidos suspensos totais agregados às raízes das alfaces ..... | 90        |
| 4.2.4.12 Análise estatística .....   | 90        |
| 4.2.5 Cultivo de plantas de feijão .....   | 91        |
| 4.2.5.1 Semeadura .....  | 91        |
| 4.2.5.2 Delineamento experimental .....  | 91        |
| 4.2.5.3 Caracterização do solo utilizado no experimento .....  | 92        |
| 4.2.5.4 Avaliações agronômicas .....   | 92        |
| 4.2.5.5 Análise dos nutrientes da parte aérea dos feijoeiros .....                                   | 93        |
| 4.2.5.6 Análise estatística .....  | 94        |
| <b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>   | <b>96</b> |

|   |     |
|---|-----|
| 5.1 Monitoramento do sistema RAC + lagoa de polimento + pós-tratamento físico-químico ..... | 96  |
| 5.1.1 Condições operacionais .....  | 96  |
| 5.1.2 Avaliação dos resultados das coletas simples .....                                    | 97  |
| 5.1.2.1 Parâmetros microbiológicos .....  | 97  |
| 5.1.2.2 Parâmetros físico-químicos .....  | 99  |
| 5.1.3 Avaliação dos resultados das coletas compostas .....                                  | 106 |
| 5.2 Estudo piloto com alfaces hidropônicas irrigadas com efluente.....                      | 107 |
| 5.3 Cultivo hidropônico de verão .....  | 108 |
| 5.3.1 Monitoramento das soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação .....   | 109 |
| 5.3.2 Análises microbiológicas da parte aérea das alfaces .....                             | 110 |
| 5.3.3 Avaliações agronômicas .....  | 114 |
| 5.3.4 Análise de nutrientes na parte aérea das alfaces .....                                | 118 |
| 5.4 Cultivo hidropônico de inverno .....  | 120 |
| 5.4.1 Monitoramento das soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação .....   | 121 |
| 5.4.2 Análises microbiológicas da parte aérea das alfaces .....                             | 122 |
| 5.4.3 Avaliações agronômicas .....  | 123 |
| 5.4.4 Análise de nutrientes na parte aérea das alfaces .....                                | 126 |
| 5.5 Análises das microalgas e dos SST agregados às raízes das alfaces                       | 130 |
| 5.6 Cultivo de plantas de feijão fertirrigadas com efluente de lagoa de polimento .....     | 131 |
| 5.6.1 Caracterização do solo utilizado no experimento .....                                 | 131 |

|  |            |
|--|------------|
| 5.6.2 Avaliações agronômicas .....   | 132        |
| 5.6.3 Análise dos nutrientes na parte aérea dos feijoeiros .....   | 134        |
| 5.6.4 Concentração de nutrientes disponibilizados pelo efluente da lagoa de polimento aos feijoeiros ..... | 137        |
| <b>6. CONCLUSÃO .....</b>  | <b>140</b> |
| <b>7. RECOMENDAÇÕES .....</b>  | <b>144</b> |
| <b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>   | <b>145</b> |
| <b>9. ANEXOS .....</b>   | <b>159</b> |

# ***Lista de Tabelas***

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 3-1:</b> Tipos de Reúso de Água.....  | 34 |
| <b>Tabela 3-2:</b> Aumento da produtividade agrícola (t/ha.ano) possibilitada pela irrigação com esgotos sanitários .....                             | 36 |
| <b>Tabela 3-3:</b> Qualidade de água para irrigação baseada na condutividade elétrica (CE).....   | 39 |
| <b>Tabela 3-4:</b> Relação dos valores de razão de adsorção de sódio (RAS) com o risco de redução da permeabilidade do solo .....                     | 39 |
| <b>Tabela 3-5:</b> Densidades usuais de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos sanitários .....                              | 41 |
| <b>Tabela 3-6:</b> Eficiência típica de remoção do patógenos em sistemas de tratamento de esgotos .....   | 43 |
| <b>Tabela 3-7:</b> Recomendações da OMS relativas à qualidade microbiológica para uso agrícola de efluentes de estações de tratamento de esgoto ..... | 45 |
| <b>Tabela 3-8:</b> Critérios de qualidade bacteriológica de frutas e hortaliças no Brasil.....  | 47 |
| <b>Tabela 3-9:</b> Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios .....  | 49 |
| <b>Tabela 3-10:</b> Faixas de eficiências de remoção de organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização .....                         | 54 |
| <b>Tabela 3-11:</b> Principais vantagens e desvantagens do sistema de lagoas facultativas .....   | 55 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 3-12:</b> Solução nutritiva recomendada por Martinez (2004) para o cultivo de alface ..... | 64 |
|--|----|

## **MATERIAL E MÉTODOS**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 4-1:</b> Resumo das metodologias de análises físico-químicas .....  | 79 |
| <b>Tabela 4-2:</b> Condições instrumentais do equipamento para análises de metais ...   | 80 |
| <b>Tabela 4-3:</b> Nutrientes adicionados aos 4 diferentes tratamentos armazenados nos reservatórios da casa de vegetação ..... | 84 |
| <b>Tabela 4-4:</b> Resultado do monitoramento da água utilizada nos experimentos hidropônicos.....                              | 86 |
| <b>Tabela 4-5:</b> Resumo das metodologias de análises da parte aérea das alfaces ..  | 90 |
| <b>Tabela 4-6:</b> Resumo das metodologias de análises da parte aérea dos feijoeiros.....                                       | 94 |
| <b>Tabela 4-7:</b> Esquema da análise de variância .....  | 95 |

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabela 5-1:</b> Estatísticas operacionais referentes ao RAC e a lagoa de polimento.....  | 96  |
| <b>Tabela 5-2:</b> Resultado do monitoramento bacteriológico realizado no esgoto bruto e nos efluentes do RAC, da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico .....               | 97  |
| <b>Tabela 5-3:</b> Resultado das análises físico-químicas do monitoramento realizado no esgoto bruto e nos efluentes do RAC, da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico ..... | 100 |
| <b>Tabela 5-4:</b> Padrões de qualidade de água estabelecidos pelo CANAMA para as classes 2 e 3 .....   | 104 |
| <b>Tabela 5-5:</b> Resultado das avaliações microbiológicas do monitoramento realizado no esgoto bruto e nos efluentes do sistema RAC + lagoa de polimento + T.F.Q .....                    | 106 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabela 5-6:</b> Valores de pH, temperatura (°C) e condutividade (mS cm <sup>-1</sup> ) das soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação.....   | 109 |
| <b>Tabela 5-7:</b> Análise de variância dos parâmetros coliformes totais e <i>E. coli</i> (NMP g <sup>-1</sup> ) na parte aérea das alfaces .....  | 111 |
| <b>Tabela 5-8:</b> Resultados do teste de ANOVA, N, média, desvio padrão, F e valor de p para as características MFPA, MSPA, MFR e MSR.....  | 114 |
| <b>Tabela 5-9:</b> Valores médios de macro e micronutrientes, seguidos da análise de variância, detectados na parte aérea das alfaces hidropônicas cultivadas com os 4 tratamentos propostos .....   | 118 |
| <b>Tabela 5-10:</b> Valores de pH, temperatura e condutividade das soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação.....  | 121 |
| <b>Tabela 5-11:</b> Valores médios e o teste F de ANOVA dos parâmetros coliformes totais e <i>E. coli</i> segundo os 4 tratamentos utilizados na irrigação das plantas.....  | 122 |
| <b>Tabela 5-12:</b> Resultados do teste de ANOVA, N, média, desvio padrão, F e valor de p para as características MFPA, MSPA, MFR e MSR.....   | 124 |
| <b>Tabela 5-13:</b> Teores de nutrientes, seguidos da análise de variância, detectados na parte aérea das alfaces hidropônicas cultivadas com os 4 tratamentos propostos .....   | 127 |
| <b>Tabela 5-14:</b> Resultado da contagem de microalgas agregadas às raízes das alfaces cultivadas com a solução convencional e com os efluentes da lagoa 50% e 100% .....   | 130 |
| <b>Tabela 5-15:</b> Resultado de SST agregados às raízes das alfaces cultivadas com a solução convencional e com os efluentes da lagoa 50% e 100% .....  | 130 |
| <b>Tabela 5-16:</b> Resultados dos caracteres analisados no solo utilizado no experimento .....  | 132 |
| <b>Tabela 5-17:</b> Resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios e graus de liberdade (GL), seguida das estimativas dos coeficientes de variação (CV) e das médias, para diferentes características agrônomicas dos feijoeiros ..... | 133 |
| <b>Tabela 5-18:</b> Média dos parâmetros agrônomicos avaliados nos feijoeiros irrigados com 5 diferentes tratamentos .....   | 134 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabela 5-19:</b> Resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios e graus de liberdade (GL), seguida das estimativas dos coeficientes de variação (CV) e das médias, para os níveis de macronutrientes dos feijoeiros.....  | 135 |
| <b>Tabela 5-20:</b> Resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios e graus de liberdade (GL), seguida das estimativas dos coeficientes de variação (CV) e das médias, para os níveis de micronutrientes dos feijoeiros ..... | 135 |
| <b>Tabela 5-21:</b> Médias dos níveis de macro e micronutrientes avaliados na parte aérea das plantas de feijão seguidas dos valores de referência para a interpretação dos resultados de análises de tecidos do feijoeiro .....                 | 136 |
| <b>Tabela 5-22:</b> Valores de referência e a quantidade de nutriente disponível para as plantas irrigadas com efluente da lagoa não diluído (T5).....   | 138 |

# ***Lista de Figuras***

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 3-1:</b> Associação entre reator UASB e lagoas de polimento ..... | 51 |
| <b>Figura 3-2:</b> Esquema do funcionamento de uma lagoa de polimento ..... | 57 |

## **MATERIAL E MÉTODOS**

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 4-1:</b> Reator anaeróbio compartimentado (RAC) .....   | 73 |
| <b>Figura 4-2:</b> Lagoa de polimento .....   | 75 |
| <b>Figura 4-3:</b> Sistema de pós-tratamento físico-químico .....   | 76 |
| <b>Figura 4-4:</b> Casa de vegetação localizada na UFES .....   | 81 |
| <b>Figura 4-5:</b> Esquema de construção da bancada de cultivo hidropônico do tipo NFT .....                      | 83 |
| <b>Figura 4-6:</b> Plantio de sementes de alface peletizadas em espuma fenólica .....                             | 85 |
| <b>Figura 4-7:</b> Transplante de mudas de alface para os canais de cultivo .....                                 | 85 |
| <b>Figura 4-8:</b> Adição dos nutrientes nos reservatórios .....  | 86 |
| <b>Figura 4-9:</b> Corte da raiz da alface durante a coleta das amostras .....                                    | 88 |
| <b>Figura 4-10:</b> Armazenamento da parte aérea das alfaces em sacos plásticos para análise microbiológica ..... | 88 |
| <b>Figura 4-11:</b> Coleta da parte aérea dos feijoeiros.....   | 93 |
| <b>Figura 4-12:</b> Coleta das raízes dos feijoeiros .....  | 93 |

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 5-1:</b> Efluentes gerados nas diversas fases do sistema RAC + Lagoa de polimento + Pós-tratamento físico-químico .....   | 102 |
| <b>Figura 5-2:</b> Temperaturas máximas, médias e mínimas (°C) diárias do ar durante plantio de verão fornecidas pelo Incaper .....   | 108 |
| <b>Figura 5-3:</b> Concentração de coliformes totais (NMP g <sup>-1</sup> ) na parte aérea das alfaces .....  | 112 |
| <b>Figura 5-4:</b> Concentração de <i>E.coli</i> (NMP g <sup>-1</sup> ) na parte aérea das alfaces .....  | 112 |
| <b>Figura 5-5:</b> Valores médios de massa fresca e massa seca da parte aérea, considerando-se o tipo de tratamento utilizado .....   | 115 |
| <b>Figura 5-6:</b> Valores médios de massa fresca e seca de raiz, considerando-se o tipo de tratamento utilizado .....  | 115 |
| <b>Figura 5-7:</b> Crescimento diferenciado das alfaces cultivadas no verão com os tratamentos T1 (Irrigação com solução nutritiva convencional), T2 (Irrigação com efluente do tratamento físico-químico), T3 (Irrigação com efluente da lagoa de polimento) e T4 (Irrigação com efluente da lagoa de polimento diluído 50%) ..... | 116 |
| <b>Figura 5-8:</b> Acúmulo de algas do efluente da lagoa de polimento nas canaletas do sistema hidropônico .....  | 117 |
| <b>Figura 5-9:</b> Algas agregadas às raízes de alface cultivada com efluente da lagoa de polimento .....   | 117 |
| <b>Figura 5-10:</b> Temperaturas máximas, médias e mínimas (°C) diárias do ar durante o plantio de inverno, fornecidas pelo Incaper .....   | 120 |
| <b>Figura 5-11:</b> Concentração de coliformes totais (NMP g <sup>-1</sup> ) na parte aérea das alfaces .....   | 123 |
| <b>Figura 5-12:</b> Concentração de <i>E.coli</i> (NMP g <sup>-1</sup> ) na parte aérea das alfaces.....  | 123 |
| <b>Figura 5-13:</b> Valores médios de massa fresca e massa seca da parte aérea, considerando-se o tipo de tratamento utilizado.....   | 124 |
| <b>Figura 5-14:</b> Valores médios da massa fresca e seca da raiz, considerando-se o tipo de tratamento utilizado .....   | 125 |
| <b>Figura 5-15:</b> Crescimento diferenciado das alfaces cultivadas no inverno com os   |     |

tratamentos T1 (Irrigação com solução nutritiva convencional), T2 (Irrigação com efluente do tratamento físico-químico), T3 (Irrigação com efluente da lagoa de polimento) e T4 (Irrigação com efluente da lagoa de polimento diluído 50%)..... 126

**Figura 5-16:** Variação do nível de N em relação às concentrações do efluente nos tratamentos T2 (efluente de lagoa de polimento a 25%), T3 (efluente de lagoa de polimento a 50%), T4 (efluente de lagoa de polimento a 75%) e T5 (efluente de lagoa de polimento a 100%) ..... 137

## ***Lista de Símbolos, Abreviaturas e Unidades***

$\mu\text{m}$  – micrometro

$\mu\text{g}$  - micrograma

Al - alumínio

**ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária**

**B – largura da lagoa**

B - boro

B1 - bloco1

B2 - bloco 2

B3 – bloco 3

B4 – bloco 4

Ca – cálcio

$\text{Ca}^{+2}$  – cátion cálcio

$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  - ácido Etilenodiaminotetracético disódico diidratado

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  - nitrato de cálcio tetrahidratado

CE – condutividade elétrica

CESAN – Companhia Espírito Santense de Saneamento

CETESB - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental

$\text{CH}_4$  - metano

cm - centímetro

cmolc – centimol de carga

$\text{CO}_2$  - dióxido de carbono

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

CTC (T) - capacidade de troca catiônica a pH 7,0

CTC (t) - capacidade de troca catiônica efetiva

Cu – cobre

$\text{Cu}^{+2}$  - cátion cobre

$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  - sulfato de cobre pentahidratado  
CV - coeficiente de variação  
d – número de dispersão  
Dag - decagrama  
 $\text{DBO}_5$  - demanda bioquímica de oxigênio referente ao 5º dia  
DQO - demanda química de oxigênio  
 $\text{DQO}_f$  - demanda química de oxigênio filtrada  
 $\text{DQO}_t$  - demanda química de oxigênio total  
 $\text{dm}^3$  - decímetro cúbico  
E.B. - esgoto bruto  
Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária  
ETE - estação de tratamento de esgoto  
EUA – Estados Unidos da América  
ES - estado do Espírito Santo  
F-AAS - espectrometria de absorção atômica com chama  
FAO – Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura  
Fe – ferro  
 $\text{Fe}^{+2}$  – cátion ferro  
 $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  - cloreto férrico hexahidratado  
g - grama  
GL – grau de liberdade  
gph - galões por hora  
h - hora  
 $\text{H}^+$  - próton  
 $\text{H}_0$  - hipótese nula  
 $\text{H}_2$  - hidrogênio  
 $\text{H}_2\text{O}$  – água  
 $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  - diidrogeno fosfato  
 $\text{H}_2\text{S}$  – ácido sulfídrico  
 $\text{H}_3\text{BO}_3$  - ácido bórico  
ha – hectare  
hab. - habitante  
HCl – ácido clorídrico  
 $\text{HNO}_3$  – ácido nítrico

Incaper - Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural

ISNa - índice de saturação de sódio

K – potássio

$K^+$  - cátion potássio

$K_2SO_4$  - sulfato de potássio

KCl - cloreto de potássio

$KNO_3$  - nitrato de potássio

$L$  - carga de  $DBO_5$

$L$  - comprimento da lagoa

$L_s$  - taxa de aplicação superficial

LCO - lâmpada de catodo oco

$L/B$  - razão entre o comprimento e a largura de lagoas de estabilização

LD – limite de detecção

Log - logarítimo

$m$  - índice de saturação de alumínio

$M$  - Índice de saturação de alumínio

$m$  - metro

$m^2$  – metro quadrado

$m^3$  – metro cúbico

min - minuto

Mg – miligrama

mL - mililitros

mm – milímetro

$Mg^{+2}$  – cátion magnésio

$MgSO_4 \cdot 7H_2O$  - sulfato de magnésio heptahidratado

mmol - milimol

Mn - manganês

$Mn^{+2}$  - cátion manganês

$MnSO_4 \cdot H_2O$  - sulfato de manganês monohidratado

MO - matéria orgânica

$MoO_4^{-2}$  - molibidato

MFPA – massa fresca da parte aérea

MFR – massa fresca de raiz

MSPA – massa seca da parte aérea

MSR – massa seca da raiz  
N - nitrogênio  
N – tamanho da amostra  
Na - sódio  
Na<sub>2</sub>MoO<sub>4</sub>.2H<sub>2</sub>O - molibdato de sódio dihidratado  
NFT - Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes  
NH<sub>3</sub> - amônia  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - cátion amônio  
NH<sub>4</sub>H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub> - monofosfato de amônio  
NMP - número mais provável  
NO<sub>2</sub><sup>-</sup> - ânion nitrito  
NO<sub>3</sub><sup>-</sup> - ânion nitrato  
ns: não significativo  
NTK - nitrogênio total Kjeldahl  
NTU - unidade nefelométrica de turbidez  
° - grau (unidade de medida angular)  
° C - grau Celsius  
O<sub>2</sub> - oxigênio  
OD - oxigênio dissolvido  
OMS – Organização Mundial de Saúde  
p - probabilidade  
P - fósforo  
pH - potencial hidrogeniônico  
P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup> - anion fosfato  
PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico  
P<sub>t</sub> - fósforo total  
PVC – policloreto de vinila  
QMR – quadrado médio do resíduo  
QMT – quadrado médio dos tratamentos  
RAC - reator anaeróbio compartimentado  
RAS - razão de adsorção de sódio  
s - segundo  
SB - soma de bases trocáveis  
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> – ânion sulfato

S<sub>Sed</sub> - sólidos sedimentáveis  
SST - sólidos suspensos totais  
ST - sólidos totais  
SV - sólidos voláteis  
T.F.Q. - pós-tratamento físico-químico  
t – tempo de detenção hidráulica  
T1 – tratamento 1  
T2 - tratamento 2  
T3 - tratamento 3  
T4 - tratamento 4  
T5 - tratamento 5  
TDH - tempo de detenção hidráulica  
T<sub>max</sub> – temperatura máxima  
T<sub>média</sub> – temperatura média  
T<sub>min</sub> – temperatura mínima  
UASB - Reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente  
UFES - Universidade Federal do Espírito Santo  
V - índice de saturação de bases  
Zn – zinco  
Zn<sup>2+</sup> - cátion zinco  
ZnSO<sub>4</sub>.7H<sub>2</sub>O - sulfato de zinco heptahidratado

# **1. Introdução**

A água é um recurso natural finito e representa um componente bioquímico essencial aos seres vivos, um meio de vida de várias espécies, um elemento representativo de valores sociais e culturais, além de ser um importante fator de produção no desenvolvimento de diversas atividades econômicas.

Com a diminuição das reservas de água em todo o mundo associado à poluição urbana e industrial de rios e cursos d'água, devido ao enorme déficit de tratamento de esgotos no país, torna-se imperativo a disciplina de uso, a preservação da qualidade da água, o controle de perdas e desperdícios e o desenvolvimento de técnicas que permitam o reúso da água, com vistas à superação de um quadro de sérios danos ambientais. Observados os cuidados necessários e vencidas as resistências de natureza cultural, o reúso apresenta-se como uma solução sanitariamente segura, economicamente viável e ambientalmente sustentável.

Nesse sentido, os esgotos sanitários tratados desempenham um papel fundamental no planejamento e na gestão sustentável dos recursos hídricos como um substituto para o uso de águas destinadas a fins industriais e agrícolas, inclusive na irrigação, que é, de longe, a atividade que mais consome água no mundo: estima-se que a irrigação responda por 80% do consumo de água, enquanto os usos industrial e humano correspondem a 10-12% e 8-10%, respectivamente. No Brasil, o consumo de água para irrigação corresponde à cerca de 60% do consumo total (PEREIRA JR., 1998).

Nas últimas décadas a irrigação com águas residuárias, principalmente de hortaliças e leguminosas, vem aumentando significativamente devido ao avanço de várias tecnologias. Essa prática tem como principais objetivos e justificativas a reciclagem de nutrientes, a economia no uso de fertilizantes químicos, o aumento qualitativo e quantitativo da produção agrícola, o controle da poluição e a redução da pressão sobre mananciais de água devido à substituição da água potável por uma água de qualidade menos nobre.

No Brasil, pouco ou quase nada se tem registrado sobre o reúso direto de esgotos sanitários para irrigação, o que não quer dizer que não ocorra, de forma indiscriminada e sem controle, impondo ao setor de saneamento básico uma necessidade de pesquisa e desenvolvimento buscando novas alternativas tecnológicas de tratamento, bem como em termos de capacitação técnico-científica e humana. Na América Latina são vários os exemplos significativos de utilização agrícola de esgotos, com destaque para o México, Chile e Peru (LEON & MOSCOSO, 1996).

A qualidade da água utilizada e o fim específico do reúso estabelecerão os níveis de tratamento recomendados, os critérios de segurança a serem adotados e os custos de capital e de operação associados. Dentre as diversas tecnologias de tratamento de esgoto sanitário que tem sido aplicados com sucesso no Brasil, o reator anaeróbio compartimentado e as lagoas de estabilização destacam-se por associar elevada eficiência, simplicidade e baixo custo de implantação, operação e manutenção.

Entretanto, os sistemas de lagoas facultativas constituem-se em corpos d'água artificialmente eutrofizados, com efluentes apresentando elevada concentração de sólidos em suspensão e de nutrientes que promovem condições suscetíveis à intensa proliferação de microalgas. Dentro desse contexto, o pós-tratamento físico-químico, surge como uma opção para a geração de efluentes dentro dos padrões de qualidade sustentáveis para o reúso, bem como para a proteção da saúde pública.

---

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.

Dentro desse contexto, o presente trabalho busca avaliar a qualidade sanitária e a produtividade de alfaces hidropônicas, bem como o desenvolvimento de plantas de feijão cultivadas com efluentes tratados pelo sistema RAC + lagoa de polimento + pós-tratamento físico-químico.

---

## 2. Objetivos

### 2.1 Objetivo Geral

Esta pesquisa tem por objetivo determinar a viabilidade da utilização de efluentes sanitários, tratados pelo sistema RAC + lagoa de polimento + pós-tratamento físico-químico, como fonte de água alternativa para o cultivo hidropônico de alface (*Lactuca sativa* L.) e para o cultivo em vasos de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).

### 2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os efluentes produzidos pelo sistema RAC + lagoa de polimento + pós-tratamento físico-químico através de análises físico-químicas e microbiológicas;
  - Analisar a qualidade sanitária das alfaces irrigadas com efluentes provenientes do sistema RAC + lagoa de polimento + pós-tratamento físico-químico, quantificando coliformes totais, *E. coli* e *Salmonella sp*;
  - Avaliar a produtividade das alfaces através da determinação da massa fresca e seca da parte aérea e da raiz e a concentração de macro e micronutrientes através das análises de N, P, K, Mg, Ca, S, Zn, Cu, Mn, Fe, B e Na na parte aérea das hortaliças cultivadas com efluentes oriundos da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico;
-

- Avaliar o desenvolvimento de plantas de feijão fertirrigadas com efluente da lagoa de polimento através dos parâmetros agronômicos altura, massa fresca e seca da parte aérea e massa seca e fresca da raiz, bem como determinar as concentrações dos nutrientes N, P, K, Mg, Ca, S, Zn, Cu, Mn, Fe, B e Na na parte aérea desses feijoeiros.
-

## **3. Revisão Bibliográfica**

### 3.1 Escassez hídrica x reúso de efluentes

A água, essencial para o surgimento e manutenção da vida em nosso planeta, cobre 77% da superfície da Terra. Esse volume está distribuído em diferentes reservatórios de água do planeta, sendo que 97,5% referem-se aos oceanos e mares e somente 2,5% são de água doce. Mais da metade dessa água doce, 68,9%, forma as calotas polares, as geleiras e a neve, 29,9% constituem as águas subterrâneas doces e cerca de 0,9% é representado pelas águas de pântano. Apenas 0,3% do percentual total compõe as águas dos rios e lagos, parcela mais facilmente aproveitada para atender às demandas e necessidades sociais e econômicas da humanidade nos diferentes usos (SHIKLOMANOV, 1990).

Além da questão da disponibilidade hídrica, também devem ser levados em consideração os problemas relacionados ao aumento da população mundial, o que exerce grande pressão sobre o consumo de água para satisfação das necessidades vitais e para a produção de alimentos e produtos industrializados e os problemas referentes à questão da poluição de corpos hídricos (Bio, 1998). Segundo Onyango (2002), estima-se que em 2025, a retirada de água, principalmente para usos domésticos, industriais e de pecuária, terá um aumento de pelo menos 50%. Esse aumento limitará severamente a utilização da água para irrigação, o que acarretará em um crescimento da produção de alimentos em apenas 4%.

---

No contexto de escassez de água que atinge várias regiões do Brasil, associado aos problemas de qualidade da água, surge, como alternativa potencial de racionalização, a reutilização da água para vários usos. Segundo Beekman (1996), o reúso vem se tornando um componente importante no planejamento, desenvolvimento e utilização dos recursos hídricos. A utilização das águas servidas para propósitos de uso não potável, como na agricultura, representa um potencial a ser explorado em substituição à utilização de água tratada e potável.

As águas de qualidade inferior, tais como efluentes sanitários tratados são considerados fontes alternativas para usos menos restritivos. Um exemplo da grande economia de água concedida pelo uso de esgotos sanitários pode ser dado considerando a contribuição *per capita* de águas residuárias de 150-200L/hab.dia e a demanda genérica de água para irrigação de 1,0-2,0 m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>. Constata-se que as águas residuárias produzidas por pessoa seriam suficientes para irrigar 30-70 m<sup>2</sup>, ou seja, uma população de 10.000 habitantes produziria “água” para irrigar cerca de 50 ha (BASTOS, 2003).

A reutilização de águas residuárias, de uma maneira geral, promove diversas vantagens do ponto de vista econômico, social e ambiental, dentre elas: propicia o uso sustentável dos recursos hídricos; minimiza a poluição hídrica nos mananciais; estimula o uso racional de águas de boa qualidade; diminui custos para implante de soluções mais complexas de tratamento de esgoto; permite evitar a tendência de erosão do solo e controlar processos de desertificação, por meio da irrigação e fertilização de cinturões verdes; possibilita a economia de dispêndios com fertilizantes e matéria orgânica; provoca aumento da produtividade agrícola; gera aumento da produção de alimentos; e permite maximizar a infra-estrutura de abastecimento de água e tratamento de esgotos pela utilização múltipla da água aduzida.

As possibilidades e formas potenciais do reúso dependem de diversos fatores, dentre eles, disponibilidade técnica, decisão política e fatores econômicos, sociais e culturais.

---

### 3.1.1 Tipos de reúso

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS,1973), a reutilização de efluentes sanitários pode ocorrer 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 a instalações industriais, reciclando e economizando a água.

Na Tabela 3-1, são apresentados os diversos tipos de reúso de água mais praticados na atualidade, em países industrializados. Variando com a demanda e características locais, essas aplicações são utilizadas também em países em desenvolvimento (CROOK, 1991).

---

Tabela 3-1: Tipos de reúso de água.

| <b>Tipos de Reúso</b>                    | <b>Aplicações</b>  |
|--|--|
| <b>Irrigação Paisagística</b>            | Parques, cemitérios, campos de golfe, faixas de domínio de auto-estradas, <i>campi</i> universitários, cinturões verdes, gramados residenciais |
| <b>Irrigação de campos para cultivos</b> | Plantio de forrageiras, plantas fibrosas e de grãos, plantas alimentícias, viveiros de plantas ornamentais, proteção contra geadas             |
| <b>Usos industriais</b>                  | Refrigeração, alimentação de caldeiras, lavagem de gases, água de processamento  |
| <b>Recarga de aquíferos</b>              | Recarga de aquíferos potáveis, controle de intrusão marinha, controle de recalques de subsolo  |
| <b>Usos urbanos não potáveis</b>         | Combate ao fogo, descarga em vasos sanitários, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, lavagem de ruas, etc.                         |
| <b>Finalidades ambientais</b>            | Aumento de vazão em cursos de água, aplicação em pântanos, terras alagadas, indústrias de pesca  |
| <b>Usos diversos</b>                     | Aqüicultura, fabricação de neve, construções, controle de poeira, dessedentação de animais   |

Fonte: Crook (1991)

### 3.1.2 Reúso na agricultura

A utilização de águas residuárias na agricultura é uma prática muito antiga, principalmente no sudoeste asiático e na China. Na Europa e Estados Unidos, no período entre os séculos XVI ao XIX, eram bastante conhecidas as “fazendas de esgotos”. Concebidas inicialmente para o tratamento de efluentes através da disposição dos esgotos no solo, as águas dessas fazendas eram circunstanciamente aproveitadas para a produção de culturas (METCALF & EDDY, 1991).

Desde a década de 50 até o presente, muitos países têm inserido a reutilização de efluentes na sua política de gestão de recursos hídricos, principalmente aqueles em que uma parte do seu território se encontra em zonas áridas ou

semi-áridas, como a República da África do Sul, a Índia, países do norte da África e do Médio Oriente, além dos já citados EUA e Israel, e ainda países aparentemente muito ricos em recursos hídricos, como a Alemanha, o Reino Unido, a Holanda e o Japão (MARECOS DO MONTE, 1994).

A atividade de irrigação é a maior consumidora de água entre os diversos usos desse recurso natural. Cerca de 250 milhões de hectares são irrigados no mundo hoje, quase cinco vezes mais do que no início do século XX. No Brasil, a demanda de água para irrigação é de aproximadamente 70% do consumo total de água. Em algumas regiões do nosso país, as demandas de água já superam as disponibilidades. Essa demanda significativa, associada à escassez de recursos hídricos leva a ponderar que as atividades agrícolas dependem, atualmente, de suprimento de água em um nível tal que a sustentabilidade da produção de alimentos não poderá ser mantida sem o desenvolvimento de novas fontes de água e a gestão adequada dos recursos hídricos convencionais.

O uso de 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, do valor intrínseco da prática (MANCUSO & SANTOS, 2003).

De acordo com Bernardi (2003), efluentes adequadamente tratados podem ser utilizados para aplicação em:

- Culturas de alimentos não processados comercialmente: irrigação superficial de qualquer cultura alimentícia, incluindo aquelas consumidas cruas;
  - Culturas de alimentos processados comercialmente: irrigação superficial de pomares e vinhas;
  - Culturas não alimentícias: irrigação de pastos, forragens, fibras e grãos;
-

- Dessedentação de animais.

Hoje em dia, a aplicação de esgotos no solo é vista como uma forma efetiva de controle da poluição e uma alternativa viável para aumentar a disponibilidade hídrica, sendo os maiores benefícios dessa tecnologia os aspectos econômicos, ambientais e de saúde pública. De acordo com Mancuso & Santos (2003), estudos em vários países demonstraram que a produtividade agrícola aumenta significativamente em sistemas de irrigação com esgotos adequadamente administrados.

No Brasil, segundo Azevedo & Oliveira (2001), a aplicação de efluentes de tratamento de esgoto doméstico numa cultura de pepino aumentou em 47% a produtividade quando comparada às plantas controle, irrigadas com água potável. Na Tabela 3-2 são demonstrados os resultados experimentais realizados em Nagpur, Índia, pelo Instituto Nacional de Pesquisas de Engenharia Ambiental, que estudou os efeitos da irrigação com esgotos sobre as culturas produzidas (SHENDE apud MANCUSO, 2003).

Tabela 3-2: Aumento da produtividade agrícola (t/ha.ano) possibilitada pela irrigação com esgotos sanitários.

| Irrigação efetuada                        | Trigo   | Feijão  | Arroz   | Batata  | Algodão |
|---|---------|---------|---------|---------|---------|
|   | 8 anos* | 5 anos* | 7 anos* | 4 anos* | 3 anos* |
| <b>Esgoto bruto</b>                       | 3,34    | 0,9     | 2,97    | 23,11   | 2,56    |
| <b>Efluente primário</b>                  | 3,45    | 0,87    | 2,94    | 20,78   | 2,3     |
| <b>Efluente de lagoa de estabilização</b> | 3,45    | 0,78    | 2,98    | 22,31   | 2,41    |
| <b>Água + NPK</b>                         | 2,7     | 0,72    | 2,03    | 17,16   | 1,7     |

Fonte: Shend apud Mancuso (2003)

\* Número de anos para cálculo da produtividade média

O aumento da produtividade agrícola não é o único benefício do reúso de águas residuárias, se bem planejado e administrado essa prática pode proporcionar inúmeras vantagens, como:

- propiciar o uso sustentável da água doce;
- aumentar a disponibilidade de recursos hídricos para finalidades que requerem padrões de qualidade mais exigentes, como o abastecimento domiciliar;
- minimizar as descargas de esgotos em corpos d'água;
- permitir evitar a tendência de erosão do solo e controlar processos de desertificação, por meio da irrigação e fertilização de cinturões verdes;
- possibilitar a economia de dispêndios com fertilizantes e matéria orgânica;
- maximizar a infra-estrutura de abastecimento de água e tratamento de esgotos pela utilização múltipla da água aduzida;
- induzir a preservação dos recursos subterrâneos.

Estudos recentes destacam a capacidade de extração de nutrientes que alguns vegetais apresentam quando irrigados por águas residuárias. Boyden & Rababah (1996) ressaltaram uma cultura de alface hidropônica como 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.

Às vantagens citadas associam-se inconvenientes reais e potenciais (MARECOS DO MONTE & MANSO, 1998). O principal risco reside na possibilidade de contaminação das plantas irrigadas e do solo pelos microrganismos patogênicos eventualmente presentes nos efluentes tratados (dependendo do tratamento a que os mesmos foram submetidas anteriormente à sua utilização). Esses microrganismos podem infectar um indivíduo suscetível através do contato direto com o solo ou com as culturas irrigadas.

Outros aspectos a serem considerados são os riscos do aumento da salinidade do solo até níveis prejudiciais ao bom desenvolvimento das plantas, da contaminação dos solos e dos alimentos por metais pesados e da potencialidade deletérea da lixiviação de elementos através do solo até os lençóis subterrâneos.

---

### 3.1.3 Qualidade físico-química da água para reúso na agricultura

Nas três últimas décadas a irrigação com esgotos tornou-se prática crescente em todo o mundo, muitas vezes acompanhada de rígido controle sanitário, outras não, conferindo sérios riscos à saúde. Portanto, o conhecimento dos riscos à saúde associado à irrigação com esgotos é fundamental. Os padrões de qualidade para reúso de efluentes devem ser estabelecidos observando-se a proteção da saúde pública, os requerimentos de uso específico, os efeitos sobre o solo, a vegetação e os aquíferos subterrâneos, os impactos ambientais, os efeitos estéticos, a aceitação do usuário e a política local (CROOK, 1991).

O conceito de qualidade de água refere-se às características que podem afetar sua adaptabilidade para uso específico. A qualidade da água defini-se por uma ou mais características físicas, químicas ou biológicas. Na irrigação, a qualidade físico-química do efluente doméstico leva em consideração diversas variáveis, que se refletem na produtividade e na qualidade das culturas, na manutenção da produtividade do solo e na proteção do meio ambiente. Segundo Reichardt (1990) dentre essas variáveis, as consideradas mais importantes em águas de reúso para irrigação agrícola são: salinidade, razão de adsorção de sódio (RAS) e o teor de boro.

A salinidade da água e do extrato solúvel do solo é medida pela condutividade elétrica (CE). Teores excessivos de sais dissolvidos contidos em águas de reúso para irrigação podem reduzir a pressão osmótica do solo, diminuindo assim a absorção de água pela planta devido ao aumento da toxicidade de íons específicos e da degradação das características físicas do solo. A Tabela 3-3 mostra uma classificação baseada na condutividade elétrica utilizada para águas de irrigação.

---

Tabela 3-3: Qualidade de água para irrigação baseada na condutividade elétrica (CE).

| Qualidade | CE (mmhos/cm a 25°C) | Risco de salinidade |
|-----------|----------------------|---------------------|
| A         | <0,75                | Baixo               |
| B         | 0,75 a 1,5           | Médio               |
| C         | 1,5 a 3,0            | Alto                |
| D         | >3,0                 | Muito alto          |

Fonte: Reichardt (1990)

Os teores máximos de salinidade para as plantas variam de espécie para espécie e dentro de uma mesma espécie, segundo a variedade e o estágio de desenvolvimento da planta.

O excesso de sódio na água de irrigação em relação ao cálcio e magnésio diminui a permeabilidade do solo, reduzindo as taxas de infiltração de água e conseqüentemente, a absorção de água pelas plantas. O efeito potencial do sódio para solos é avaliado através da razão de adsorção de sódio, dado pela fórmula:

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

A Tabela 3-4 mostra o risco da redução da permeabilidade do solo em função da RAS.

Tabela 3-4: Relação dos valores da razão de adsorção de sódio (RAS) com o risco de redução da permeabilidade do solo.

| Índice de sódio | RAS (mmolL <sup>-1</sup> ) | Risco de redução da permeabilidade |
|-----------------|----------------------------|------------------------------------|
| A               | <3                         | Baixo                              |
| B               | 3 a 5                      | Médio                              |
| C               | 5 a 8                      | Alto                               |
| D               | >8                         | Muito alto                         |

Fonte: Reichardt (1990)

Dentre os íons considerados mais importantes quando se utiliza efluente doméstico em irrigação, o boro, apesar de ser um elemento essencial para o crescimento das plantas, pode se acumular no solo a níveis tóxicos para as culturas. São consideradas seguras concentrações menores que 0,5 mg L<sup>-1</sup> de boro na água de irrigação, enquanto que valores da ordem de 3 a 4 mg L<sup>-1</sup> já são tóxicos para a maioria das culturas (REICHARDT, 1990).

Compostos tóxicos, como os metais pesados, podem afetar gravemente as plantas irrigadas e a saúde humana. Efluentes tratados de esgotos predominantemente domésticos geralmente apresentam teores de metais e de compostos orgânicos abaixo daqueles considerados fitotóxicos.

### 3.1.4 Qualidade microbiológica da água para reúso na agricultura

Em relação à qualidade microbiológica da água de reúso, sabe-se que os esgotos sanitários podem conter os mais variados agentes patogênicos. Porém, a simples presença de um microorganismo patogênico nos efluentes não implica necessariamente na imediata transmissão de doenças, caracterizando apenas o risco potencial. O risco real de um indivíduo ser infectado depende da combinação de diversos fatores, dentre os quais, a resistência dos microorganismos 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).

Os processos de tratamento eficazes e o monitoramento da qualidade da água utilizada na irrigação são as melhores formas de mitigação dos riscos de saúde. Como o número de organismos patogênicos presentes em águas poluídas é baixo e de difícil identificação e isolamento, para o monitoramento microbiológico das águas normalmente são utilizados os organismos indicadores de contaminação fecal, os quais não são patogênicos e estão presentes nas excretas humanas (VON SPERLING, 1996).

Os patogênicos normalmente encontrados em esgotos domésticos incluem os grandes grupos: bactérias, protozoários, helmintos e vírus. A presença de ovos de helmintos constitui o risco mais importante para saúde, em virtude da maior persistência desses microrganismos no solo e nas plantas. Segundo Yanez (1993), o tempo de sobrevivência dos helmintos no meio ambiente é da ordem de meses e até de anos, enquanto que para as bactérias e vírus, esse tempo é de poucos dias. Os microrganismos e suas respectivas densidades, usualmente encontrados em esgotos sanitários, são mostrados na Tabela 3-5.

Tabela 3-5: Densidades usuais de organismos patogênicos e indicadores de contaminação em esgotos sanitários.

| Microrganismos                         | Densidades                            |
|--|---------------------------------------|
| <i>Escherichia coli</i>                | $10^6$ - $10^8$ /100mL <sup>(1)</sup> |
| <i>Salmonella</i> sp                   | $10^2$ - $10^3$ /100mL <sup>(1)</sup> |
| Cistos de <i>Giardia</i> sp            | $10^2$ - $10^4$ /L <sup>(2)</sup>     |
| Oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp | $10^1$ - $10^2$ /L <sup>(2)</sup>     |
| Ovos de helmintos                      | $10^1$ - $10^3$ /L <sup>(3)</sup>     |
| Vírus                                  | $10^2$ - $10^5$ /L <sup>(3)</sup>     |

Fonte: Bastos (2003)

1. Informações respaldadas em ampla literatura; 2. Informações compiladas por Bastos et al. (2001) referentes a diversos estudos em diferentes países, acrescidas de Bevilacqua et al. (2002), Brasil; 3. Informações baseadas em diversos estudos em diferentes países, por exemplo, Ayres et al. (1992), Brasil e Quênia, acrescidas de dados obtidos no Edital 3, Tema 2 do PROSAB; 4. Feachem et al. (1983).

De acordo com a Organização Mundial da Saúde, as doenças diarréicas são responsáveis por mais de 3 milhões de mortes a cada ano. Com isso, cuidados e medidas devem ser tomadas e definidas para evitar riscos, como a contaminação da água por bactérias, vírus, protozoários, micro-poluentes orgânicos e inorgânicos e metais pesados, associados à prática do reúso na irrigação. É preciso estabelecer bases científicas, políticas, institucionais e legais para o desenvolvimento de padrões e códigos de prática nacional de reúso na agricultura de maneira sustentada, ecologicamente compatível e isenta de riscos à saúde pública.

Dentre as medidas que minimizam os riscos ocasionados à irrigação com efluentes sanitários pode-se citar: a restrição da cultura a ser irrigada, o controle da exposição humana, a seleção do método de irrigação e o tratamento das águas residuárias.

A seleção de culturas visa à proteção dos consumidores, por exemplo, não se permite a irrigação de culturas consumidas *in natura* e cultivadas com água de qualidade inadequada. Além disso, em alguns procedimentos o controle da exposição humana pode ser realizados através de medidas simples, como a utilização de vestuário adequado (botas e luvas).

A escolha do método de irrigação visa à saúde dos trabalhadores e consumidores, o tipo de contaminação da cultura e os maus odores, além dos fatores econômicos. Dentro desse contexto, os sistemas de cultivo hidropônicos apresentam a vantagem de minimizar o contato entre as águas residuárias, as partes comestíveis das plantas e os agricultores.

Com relação ao tratamento de águas residuárias, a Engenharia Sanitária dispõe de diversos sistemas de tratamentos comprovadamente capazes de tratar esgotos sanitários a ponto de atingirem padrões de qualidade sustentáveis para o reúso na agricultura e para a recirculação da água sem nenhum problema para saúde pública. Genericamente, a eficiência de remoção de patógenos por meio do tratamento de esgotos é demonstrada na Tabela 3-6.

---

Tabela 3-6: Eficiência típica de remoção do patógenos em sistemas de tratamento de esgotos.

| Processos de tratamento                                     | Eficiência típica de remoção ( $\log_{10}$ ) |       |              |           |
|---|--|-------|--------------|-----------|
|   | Bactérias                                    | Vírus | Protozoários | Helmintos |
| Processos secundários convencionais + decantação secundária | 0-2  | 0-1   | 0-1          | 0-2       |
| Precipitação química  | 1-2  | 0-1   | 0-1          | 1-3       |
| Precipitação química + filtração terciária                  | 1-2  | 1-2   | 1-3          | 1-3       |
| Biofiltros  | 0-2  | 0-1   | 0-1          | 0-2       |
| Reatores anaeróbios   | 0-1  | 0-1   | 0-1          | 0-1       |
| Lagoas de estabilização                                     | 1-6  | 1-4   | 1-4          | 1-3       |
| Desinfecção   | 2-6  | 1-4   | 0-3          | 0-1       |
| Precipitação química + filtração terciária + desinfecção    | 2-6  | 1-4   | 1-4          | 1-3       |

Fonte: Bastos (2003)

Dentre os vários métodos empregados nos tratamentos dos esgotos gerados, o sistema de lagoas de estabilização destaca-se por corresponder a uma opção tecnológica de baixo custo para se alcançar elevada eficiência na remoção de organismos patogênicos.

A plena segurança em relação ao reúso de efluentes não é garantida, essa segurança pode ser otimizada pelo tratamento necessário das águas residuárias associados a restrições de culturas. O emprego de medidas complementares de proteção à saúde deve ser levado em consideração na formulação de normas e critérios para a irrigação com águas residuárias, para que essa prática se torne economicamente e ambientalmente sustentável.

### 3.1.5 Legislação relativa ao reúso de água aplicada na irrigação

O reúso da água do esgoto tratado na agricultura é uma forma de dar uma finalidade ao lançamento deste efluente semelhante à conseguida antes da captação para o tratamento da água. Este retorno de qualidade da água, não necessariamente, precisa ser oneroso para os consumidores (usuários), mas

pode ser motivo de melhoria da qualidade do tratamento estabelecido, agregando valor ao esgoto tratado e criando um ciclo de nutrientes e de matéria.

Para que a reutilização da água se processe de forma relativamente eficaz e não seja causa de prejuízos indesejados e imprevistos, torna-se necessário que o princípio da reutilização seja inserido na política de gestão de recursos hídricos dos governos de forma harmoniosa, contemplando, de forma integrada, todos os aspectos ambientais, econômicos, técnicos, sociais e legais.

O reúso planejado de efluentes foi implantado no início deste século, sendo o estado da Califórnia (EUA) o pioneiro no estabelecimento de um regulamento relativo à salvaguarda da saúde pública em sistemas de utilização de águas residuais em irrigação, o qual foi publicado em 1918 (ARAÚJO, 2000). Também neste ano foi proibida a utilização de efluentes brutos e de tanques sépticos para a irrigação de vegetais ingeridos crus. O regulamento californiano foi copiado e adaptado por diversos estados norte-americanos e mesmo por outros países que se enveredaram pela reutilização da água como componente oficial da sua política de recursos hídricos.

Vários estudos foram idealizados para alcançar índices de qualidade aceitáveis, até que em 1985, a OMS propôs um padrão de qualidade bacteriológica de 1000 coliformes termotolerantes  $100\text{ml}^{-1}$  sem restrição e um padrão, mais restritivo, de menos de 1 ovo de helminto  $\text{L}^{-1}$ . Os padrões da OMS (Tabela 3-7) foram apresentados como consistentes com os critérios para águas de irrigação superficiais, sendo adotados na maioria dos países, inclusive na Europa (LAZAROVA et al., 2000).

---

Tabela 3-7: Recomendações da OMS relativas à qualidade microbiológica, para uso agrícola <sup>(a)</sup> de efluentes de estações de tratamento de esgoto.

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

Fonte: Adaptado de Felizatto (2001)

(a) em casos específicos, de acordo com os fatores ambientais, epidemiológicos, locais e socioculturais, devem ser consideradas modificações das recomendações;

(b) espécies dos nematóides *Ascaris*, *Trichuris*, *Ancilostoma* e *Necator* ;

(c) durante o período de irrigação;

(d) recomendações mais rigorosas devem ser consideradas (≤ 200 CF/100mL) para gramados públicos onde o público tem contato direto;

(e) no caso de árvores frutíferas, a irrigação deve ser suspensa duas semanas antes da colheita, sem que sejam apanhadas no chão.

Os critérios da OMS para irrigação irrestrita são rigorosos quanto à remoção de helmintos, mais flexíveis em relação à qualidade bacteriológica e omissos em relação aos vírus e protozoários. Entretanto esses critérios encontram-se centrados no emprego de lagoas de estabilização e no entendimento de que, neste caso, o padrão ≤ 1 ovo de nematóide L<sup>-1</sup> serve como indicador da remoção dos demais organismos sedimentáveis, como os protozoários. Já o padrão ≤ 1000 coliformes termotolerantes 100ml<sup>-1</sup> serve como indicativo da inativação de bactérias patogênicas e vírus. Para a irrigação restrita (culturas processadas industrialmente, cereais, forragens, pastagens e árvores) não é exigido sequer padrão bacteriológico (BASTOS, 2003).

Critérios específicos de qualidade de efluentes não são adotados em relação a alguns sistemas de cultivo, como no caso da hidroponia. Como na irrigação convencional, provavelmente as exigências devem ser compatibilizadas à técnica hidropônica utilizada e ao tipo de cultura. Caso seja empregada a

técnica do fluxo laminar de nutrientes no cultivo de culturas processadas ou não-alimentícias, talvez se inclua na categoria C das recomendações da OMS (irrigação localizada), uma vez que o contato da água residuária com as plantas é mínimo. No caso de culturas consumidas cruas, os critérios relativos à categoria A seriam mais corretamente aplicados, por serem mais restritivos.

Em certas regiões do Brasil atividades de reúso de água com fins agrícolas são exercidas de maneira informal e sem medidas de proteção ambiental e de saúde pública adequadas. Muitas vezes o agricultor utiliza águas altamente poluídas para irrigação de hortaliças e outros vegetais, ignorando que esteja exercendo uma prática danosa à saúde pública dos consumidores e provocando impactos ambientais negativos. É preciso que sejam criadas estruturas de gestão e que haja disseminação de informação e desenvolvimento de tecnologias compatíveis com as condições técnicas, culturais e sócio-econômicas de cada região.

### 3.2 Qualidade microbiológica dos alimentos irrigados com efluentes

Apesar das vantagens apresentadas pela aplicação de efluentes de tratamento de esgoto na agricultura, deve-se levar em consideração que se trata de um material, em sua grande maioria, contaminado por microrganismos causadores de doenças em humanos, animais e algumas espécies de plantas. Dessa forma, grande parte dos estudos com reúso de efluentes enfocam a qualidade microbiológica desses alimentos e não apenas os aspectos agrônômicos, para que o tratamento e aplicação destes efluentes sejam realizados com critérios, garantindo a segurança de trabalhadores rurais e consumidores.

A Califórnia tem um dos padrões mais rigorosos do mundo: 2,2 coliformes termotolerantes  $100\text{mL}^{-1}$  para culturas consumidas cruas (LEON & CAVALLINI, 1999). Desde sua publicação, a legislação da Califórnia e as recomendações da OMS têm servido de referência em vários países. Para alimentos, a

---

legislação em vigor no Brasil é regulamentada pela RDC n° 12, de 2 de janeiro de 2001 e aprovada pela Secretaria de Vigilância Sanitária – SVS do Ministério da Saúde. Para hortaliças frescas, “*in natura*”, selecionadas ou não, refrigeradas ou congeladas, estabelece-se: ausência de *Salmonella sp* em 25 gramas de produto e presença máxima de 200 coliformes termotolerantes grama<sup>-1</sup> (Tabela 3-8).

Tabela 3-8: Critérios de qualidade bacteriológica de frutas e hortaliças no Brasil.

| Alimentos / Organismos  | <i>Salmonella sp</i><br>(ausência em) | Coliformes Termotolerantes<br>(máximo de) |
|---|---------------------------------------|---|
| a) frutas frescas, inteiras, refrigeradas ou congeladas, consumidas diretamente | 25 NMP g <sup>-1</sup>                | 200 NMP g <sup>-1</sup>                   |
| b) frutas e hortaliças secas, desidratadas ou ionizadas                         | 25 NMP g <sup>-1</sup>                | 10 NMP g <sup>-1</sup>                    |
| c) frutas cristalizadas   | 25 NMP g <sup>-1</sup>                | 10 NMP g <sup>-1</sup>                    |

Fonte: Adaptado de Bastos (1999)

Com os dados da Tabela 3-8, observa-se que as hortaliças contendo 1000 coliformes termotolerantes 100g<sup>-1</sup> seriam consideradas de boa qualidade, desde que houvesse ausência de *Salmonella sp*. Embora não se possa afirmar conclusivamente que a presença dessa quantidade de coliformes garanta a inexistência de *Salmonella sp*, essa é uma tendência relativamente provável.

Na cidade de Marrakesh, no Marrocos, a freqüente utilização de esgoto bruto na agricultura, sem tratamento prévio, tem levado à contaminação de lavouras de alface e salsa irrigadas por este sistema, detectando-se *Salmonella sp* (MELLOUL et al., 2001). O cumprimento da legislação vigente e das recomendações da OMS visam ao estabelecimento de parâmetros para que alimentos produzidos via irrigação com águas residuárias sejam obtidos de maneira segura.

### 3.3 Tratamento de efluentes sanitários

A utilização direta e indireta de águas residuárias, tratadas ou não, vem se tornando prática constante em todo o Brasil. Vários exemplos de utilização espontânea de esgotos tratados ou não no nordeste do país, incluindo o plantio de milho, melancia, abóbora e capim para alimentação animal são registrados (ANDRADE NETO, 1992). Diante desses dados, aliado ao quadro epidemiológico e ao perfil sócio-econômico das comunidades brasileiras, verifica-se a necessidade por sistemas simplificados de tratamento de esgotos.

O tratamento de águas residuárias é uma necessidade, cujo investimento é uma economia em saúde pública. Se o sistema de tratamento for considerado como um sistema produtivo, este necessita de uma boa gestão ambiental para a sua sustentabilidade, envolvendo questões:

- a) Sociais - gerando empregos e promovendo a saúde;
- b) Econômicas - custeando a viabilização da implantação e manutenção do sistema de tratamento;
- c) Ambientais - a reutilização do efluente tratado melhora o sistema de tratamento e retorna o potencial desta água à quando foi captada para tratamento e distribuição para a população.

Tecnologias apropriadas para o tratamento de esgoto constituem hoje, em conjunção com a melhoria da eficiência do uso e o controle da demanda, na estratégia básica para a solução do problema da falta universal de água. O grau de tratamento de esgoto necessário irá variar com o tipo de reuso que se dará ao efluente, associado aos padrões de qualidade exigidos.

#### 3.3.1 Reator anaeróbio compartimentado

A utilização de sistemas anaeróbios encontra-se atualmente consagrada no Brasil. As diversas características favoráveis desses sistemas aliadas às

---

condições ambientais no Brasil favorecem a implantação dos sistemas anaeróbios de tratamento de esgotos em vários estados brasileiros. De acordo com Chernicharo (1997) as principais vantagens e desvantagens dessa tecnologia, são ilustradas na Tabela 3-9.

Tabela 3-9: Vantagens e desvantagens dos processos anaeróbios.

| Vantagens   | Desvantagens   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• baixa produção de sólidos, cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios;</li> <li>• baixo consumo de energia, usualmente associado a uma elevatória de chegada, fazendo com que os sistemas tenham custos operacionais muito baixos;</li> <li>• baixa demanda de área;</li> <li>• baixos custos de implantação, da ordem de r\$ 20 a 40 <i>per capita</i>;</li> <li>• produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico;</li> <li>• possibilidade de preservação da biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses;</li> <li>• tolerância a elevadas cargas orgânicas;</li> <li>• aplicabilidade em pequena e grande escala;</li> <li>• baixo consumo de nutrientes.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• as bactérias anaeróbias são susceptíveis à inibição por um grande número de compostos;</li> <li>• a partida do processo pode ser lenta, na ausência de lodo de semente adaptado;</li> <li>• alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária;</li> <li>• a bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexas;</li> <li>• possibilidade de geração de maus odores, porém controláveis;</li> <li>• possibilidade de geração de efluente com aspecto desagradável;</li> <li>• remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos insatisfatória.</li> </ul> |

Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997)

O avanço da tecnologia de tratamento de esgotos em sistemas UASB propiciou o surgimento de outros reatores similares baseados em sua concepção e que buscam atender os requisitos essenciais em um reator: a formação e retenção de grande quantidade de biomassa e a melhoria do contato biomassa – esgoto. A melhor distribuição do efluente, dispositivos especiais para separação de

líquidos e gases, minimização de curtos-circuitos e zonas mortas são alguns dos artifícios utilizados para atender tais requisitos.

Uma das variações de configuração do reator UASB convencional é o reator anaeróbio compartimentado (RAC). O RAC é constituído de um tanque com várias câmaras operadas em paralelo, cada qual separada por paredes verticais, com separador trifásico na última câmara. O fluxo em cada câmara é vertical e ascendente. Os compartimentos de digestão operam em paralelo com o objetivo de obter um regime hidráulico mais estável no interior do reator. Assim, a adequada distribuição do esgoto afluyente, que pode ser direcionado para uma, duas ou três câmaras de digestão, possibilita o estabelecimento de velocidades ascensionais mais estáveis e uma menor ocorrência de “zonas mortas” no interior do reator. A estabilidade das variações das velocidades ascensionais em cada compartimento de digestão possibilita a manutenção de condições otimizadas de mistura em cada câmara e contribui para a minimização da perda de sólidos para o compartimento de sedimentação; conseqüentemente, é produzido um efluente anaeróbio mais clarificado (KATO et al., 1999).

O reator anaeróbio, por não necessitar de separador gás/líquido/sólido, apresenta menor altura, o que facilita sua execução enterrada e pode, deste modo, ser concebido para bairros ou pequenas comunidades, evitando-se gastos excessivos com interceptores e emissários de esgotos sanitários. Além das vantagens citadas, esse reator possui reduzido custo de implantação, operação e manutenção.

### 3.3.1.1 Associação de um reator UASB e uma lagoa de polimento

A principal vantagem da associação de um reator anaeróbio com lagoas de polimento (Figura 3-1) é a redução da área necessária para implantação desse tipo de sistema de tratamento de esgoto, em comparação com o sistema de lagoa de estabilização convencional.

---

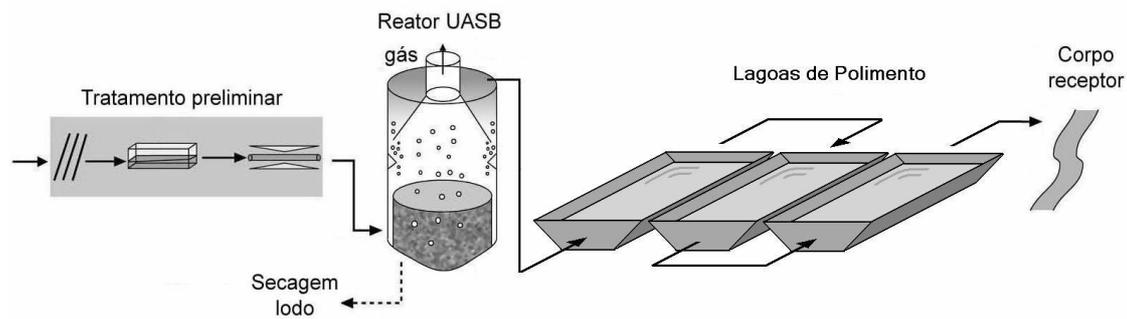


Figura 3-1: Associação entre reator UASB e lagoas de polimento

Fonte: Chernicharo, 2001

As seguintes vantagens também podem ser citadas com relação a essa associação:

- Nesse sistema, não há problemas relacionados à emissão de odores fétidos, ao contrário do que normalmente ocorre em lagoas convencionais devido à presença de sulfeto na fase líquida. No sistema UASB + lagoa de polimento uma parte do sulfeto é removida junto com o biogás como gás sulfídrico, sendo que este biogás pode ser queimado, transformando o sulfeto em sulfato, que é inodoro;
- Como não há problemas com odores em lagoas de polimento e devido à simplicidade operacional inerente ao sistema, torna-se possível construir as unidades muito mais próximas de centros urbanos, reduzindo assim, a extensão do emissário, e conseqüentemente os custos elevados no sistema de esgotamento;
- Nessa associação, mesmo quando não se dá descargas de lodo do reator UASB, a deposição de lodo nas lagoas de polimento é muito menor, sendo que a maioria deste lodo é resultado da sedimentação de algas floculadas (CAVALCANTI et al., 2000 a);
- O pré-tratamento no reator UASB promove uma redução de 65 a 80% da concentração do material orgânico (van HAANDEL & LETTINGA, 1994), além de remover grande parte do material coloidal do esgoto,

produzindo um esgoto digerido com baixa turbidez. Com isso, nas lagoas de polimento, garante-se a penetração da luz solar na maior parte da coluna d'água, acelerando a fotossíntese e a produção de oxigênio. A baixa taxa de oxidação, associada à alta taxa de produção fotossintética de oxigênio, leva à prevalência da fotossíntese sobre a oxidação bacteriana.

Apesar das várias vantagens, em muitos casos os reatores anaeróbios compartimentados produzem um efluente que não se enquadra dentro da legislação ambiental brasileira, principalmente devido à baixa concentração de oxigênio dissolvido, a matéria orgânica residual e a alta concentração de organismos patogênicos encontrados nesse efluente. Por esse motivo o pós-tratamento do efluente desses reatores assume importância fundamental para o reúso e para a proteção dos corpos d'água receptores.

Existem várias alternativas para o pós-tratamento de reatores anaeróbios, tais como: disposição no solo, lagoas de estabilização/polimento, lodos ativados e sistemas com biofilme (filtros percoladores e biofiltros aerados).

### 3.3.2 Lagoas de estabilização

Dentre os sistemas de tratamento de esgotos, as lagoas de estabilização apresentam vantagens quanto à utilização dos efluentes gerados na irrigação de culturas, apesar de não ser uma prática isenta de riscos. O reúso desses efluentes, além de disponibilizar água e nutrientes para as culturas irrigadas,

funciona como um instrumento de controle da poluição dos corpos d'água receptores. Somente em Fortaleza, a vazão disponível das lagoas de estabilização em série ( $24.998 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ ) poderia irrigar uma área de, pelo menos, 450 hectares a custos compatíveis com os de água superficial (ARAÚJO, 2000).

---

As lagoas de estabilização constituem um processo biológico de tratamento de esgotos, cujo principal objetivo é transformar o material orgânico presente na água residuária a ser tratada em produtos mineralizados, utilizando-se processos baseados na atividade metabólica de microorganismos, como bactérias e algas.

O sistema de lagoas de estabilização tem sido amplamente utilizado no mundo, notadamente em comunidades rurais e cidades de pequeno a médio porte, situados em locais de clima quente, onde não há limitação geográfica de terreno, devido à grande área exigida (FEIGIN et al., 1991).

Nenhum sistema convencional de tratamento de esgoto pode competir com a eficiência de remoção de microrganismos que se obtém nas lagoas de estabilização, exceto naqueles em que são adicionados algum produto químico ao processo de desinfecção do efluente, o que encarece e torna mais complexa a sua operação e manutenção (LEON SUEMATSU & MOSCOSO CAVALLINI, 1999). Segundo Yanez (1993) e Von Sperling (1999), esse sistema de tratamento de esgotos garante remoção completa dos ovos de helmintos e eficiência elevada de remoção de coliformes termotolerantes. Essa elevada eficiência na remoção de coliformes ocorre em função de um conjunto de fatores, como: a luz solar, o alto pH e alta concentração de oxigênio dissolvido (CURTIS et al., 1992). No entanto, Campos et al. (2002) complementam que, para lagoas facultativas, além desses fatores, a sedimentação, os baixos teores de CO<sub>2</sub>, as toxinas produzidas por algas, a presença de predadores e o tempo de retenção, podem afetar a taxa de remoção dos organismos indicadores (coliformes).

É um sistema de tratamento ideal para as condições do Brasil devido aos seguintes aspectos: suficiente disponibilidade de área em um grande número de localidades, clima favorável aos processos naturais de decomposição da matéria orgânica, construção e operação simplificadas e baixo custo operacional.

---

Existem diversas variantes dos sistemas de lagoa de estabilização, com diferentes níveis de simplicidade operacional e requisitos de área. Os tipos mais utilizados são: lagoas facultativas, lagoas anaeróbias, lagoas de maturação, lagoas aeradas e lagoas aeróbias de alta taxa.

Na Tabela 3-10 podem ser observadas as faixas de eficiência de remoção de organismos patogênicos e indicadores em reator anaeróbio associado à lagoa de polimento em comparação a outros tipos de lagoas.

Tabela 3-10: Faixas de eficiências de remoção de organismos patogênicos e indicadores em lagoas de estabilização.

| Parâmetro              | Eficiência típica de remoção (% ou unidades log removidas)* |                   |                               |                               |  |
|------------------------|---|-------------------|-------------------------------|-------------------------------|--|
|                        | Reator UASB+ lagoa de polimento                             | Lagoa facultativa | Lagoas anaeróbia+ facultativa | Lagoas facultativa+ maturação | Lagoas anaeróbia+ facultativa+ maturação |
| Coliformes             | 3-6 log   | 1-2 log           | 1-2 log                       | 3-6 log                       | 3-6 log                                  |
| Bactérias patogênicas  | 3-6 log   | 1-2 log           | 1-2 log                       | 3-6 log                       | 3-6 log                                  |
| Vírus                  | 2-4 log   | ≤ 1log            | ≈ 1                           | 2-4 log                       | 2-4 log                                  |
| Cistos de protozoários | ≈ 100%  | ≈ 100%            | 100%                          | 100%                          | 100%                                     |
| Ovos de helmintos      | ≈ 100%  | ≈ 100%            | 100%                          | 100%                          | 100%                                     |

Fonte: Von Sperling (2003)

\* 1 log = 90%; 2 log = 99%; 3 log = 99,9%; 6 log = 99,9999%

As lagoas facultativas são consideradas as mais simples dentro do sistema de lagoas de estabilização. Nelas ocorre a retenção dos efluentes por um determinado período de tempo, até que se desenvolvam os processos de estabilização da matéria orgânica. Para Yanez (1993) é, indiscutivelmente, o tipo de lagoa mais utilizado a nível mundial.

Nessas lagoas, as características físicas e operacionais, tais como profundidade e carga orgânica, proporcionam a ocorrência de três fases distintas com relação à presença de oxigênio dissolvido: zona aeróbia, zona facultativa e zona anaeróbia.

A Tabela 3-11 apresenta um balanço de vantagens e desvantagens do sistema de lagoas facultativas (VON SPERLING, 1995).

Tabela 3-11: Principais vantagens e desvantagens do sistema de lagoas facultativas.

| Vantagens   | Desvantagens   |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Satisfatória eficiência na remoção de DBO;</li> <li>- Eficiente na remoção de patógenos;</li> <li>- Construção, operação e manutenção simples;</li> <li>- Reduzidos custos de implantação e operação;</li> <li>- Ausência de equipamentos mecânicos;</li> <li>- Requisitos energéticos praticamente nulos;</li> <li>- Satisfatória resistência a variações de carga;</li> <li>- Remoção de lodo necessária apenas após períodos superiores à 20 anos.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elevados requisitos de área;</li> <li>- Dificuldade em satisfazer padrões de lançamento muito restritivos;</li> <li>- A simplicidade operacional pode trazer o descaso na manutenção (crescimento de vegetação);</li> <li>- Possível necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões rigorosos;</li> <li>- Performance variável com as condições climáticas;</li> <li>- Possibilidade do crescimento de insetos.</li> </ul> |
| <p>Fonte: Von Sperling (1995)</p>   |  |

### 3.3.2.1 Lagoas de polimento

As lagoas de polimento são lagoas facultativas que recebem efluentes tratados em um reator anaeróbio eficiente, como é o caso do reator UASB. O esgoto

afluente entra continuamente em uma extremidade da lagoa, artificialmente eutrofizada, e sai na extremidade oposta.

Durante esse percurso, que pode demorar vários dias, a matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) começa a sedimentar formando o lodo de fundo. Como o fundo da lagoa constitui a zona anaeróbia da lagoa devido à ausência de luz, os sólidos sedimentados são degradados pela ação de bactérias

facultativas e estritamente anaeróbias. Já a matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel) e a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões (DBO finamente particulada) permanecem dispersas na zona aeróbia, onde são degradadas pelas bactérias heterotróficas e convertidas a compostos mineralizados, como dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), amônio ( $\text{NH}_4^+$ ), fosfatos ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) e água. O oxigênio é fornecido pela atividade fotossintética das microalgas e, em menor escala, pela reaeração atmosférica. Logo, esse processo é baseado nas relações simbióticas, desenvolvidas no interior da lagoa, entre as algas e os microrganismos heterotróficos, uma vez que estes utilizam o  $\text{O}_2$  produzido pelas microalgas durante degradação da matéria orgânica, gerando como subproduto o  $\text{CO}_2$ , necessário à fotossíntese (KÖNIG, 2000). Para que essas relações simbióticas aconteçam essas lagoas devem ser implantadas em lugares de baixa nebulosidade e suficiente radiação solar. A Figura 3-2 ilustra os mecanismos de degradação da matéria orgânica em lagoas de polimento.

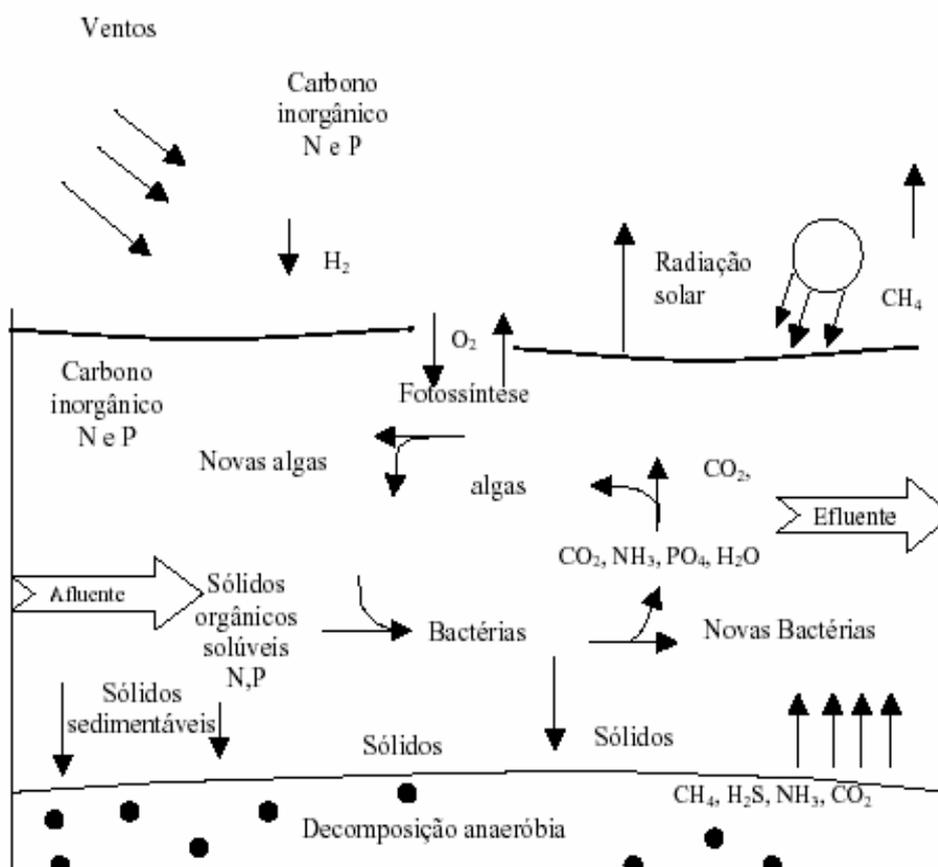


Figura 3-2: Esquema do funcionamento de uma lagoa de polimento.

Fonte: Adaptado de König (2000)

Algumas características são extremamente relevantes para o ótimo funcionamento das lagoas de polimento. Dentre elas, a profundidade exerce influência significativa, uma vez que a zona aeróbia depende da penetração da luz solar para suportar a atividade fotossintética e, conseqüentemente, manter a eficiência na remoção da matéria orgânica remanescente, nutrientes e patógenos. A tendência atual tem sido a de se adotar lagoas de polimento com profundidade entre 0,6 e 1,0 m (VON SPERLING, 2003).

Além da profundidade, o tempo de detenção hidráulica (TDH) e a carga orgânica superficial são características operacionais que influenciam diretamente o desempenho da lagoa de polimento na remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos. Uma remoção significativa de organismos

patogênicos ocorre para TDH variando entre 10 e 20 dias (VON SPERLING, 2003), enquanto que a carga orgânica superficial, definida pela razão entre a carga de  $\text{DBO}_5$  total afluente e a área da lagoa, é geralmente baixa (aproximadamente  $150 \text{ kg}/(\text{ha} \times \text{d})$ ), favorecendo a predominância de condições aeróbias (CAVALCANTI et al. 2001).

### 3.3.3 Pós-tratamento do efluente de lagoas

Apesar da eficiência comprovada na remoção de poluentes orgânicos e alguns patógenos, as lagoas facultativas constituem-se em corpos d'água artificialmente eutrofizados, promovendo condições suscetíveis à intensa proliferação de cianobactérias e, conseqüente, produção de toxinas. Como essas toxinas podem causar a morte de animais domésticos e selvagens, além de problemas à saúde humana, há necessidade de controle e vigilância da proliferação de microalgas e cianobactérias tóxicas, prevista pela Resolução CONAMA 357/05, que estabelece os padrões de qualidade das águas.

Diversas tecnologias foram desenvolvidas e testadas no polimento final de efluente de lagoas buscando melhorar sua qualidade e conseqüente remoção

---

de sólidos em suspensão (microalgas). Middlebrooks (1995) fez uma revisão sucinta dos métodos empregados na remoção de sólidos em suspensão, incluindo filtração intermitente de areia, filtro de rochas, dentre outros. Oliveira (1999) também apresentou uma descrição de várias tecnologias empregadas no polimento de efluente de lagoas de estabilização facultativas acrescentando métodos de remoção mais recentes como biofiltro aerado submerso e processos físico-químicos.

Dentre essas tecnologias, o tratamento físico-químico de efluentes de lagoa é o mais eficiente na remoção de fósforo, nutriente limitante do processo de eutrofização dos corpos d'água (OLIVEIRA & GONÇALVES, 1999). Esse tratamento envolve uma etapa de coagulação-floculação, seguida por decantação (FRIEDMAN et al., 1977), através da ação de coagulantes e que

podem ser realizadas em unidades específicas, inseridas a jusante dos reatores biológicos ou dentro da própria lagoa. Os coagulantes, ao serem lançados no esgoto a ser tratado promovem a desestabilização das partículas em suspensão (coagulação) e posteriormente sua aglomeração em flocos (floculação). Os flocos formados sedimentam pela ação da gravidade (ROCHA, 2000).

As principais vantagens dessa tecnologia são o baixo custo de implantação das unidades de tratamento, melhoria na estabilidade do lodo ativado e a excelente qualidade do efluente produzido. Como desvantagem pode-se citar a necessidade do controle do pH (SOUZA, 2005).

Os coagulantes mais utilizados para o tratamento de efluentes são os sais de ferro e de alumínio. Segundo Rocha (2000), a utilização de coagulantes à base de alumínio proporcionou efluente final de melhor qualidade em relação aos coagulantes férricos. Neste estudo utilizando um cloreto de polialumínio na concentração de  $40 \text{ mg L}^{-1}$ , foram produzidos efluentes com concentração média de clorofila "a" da ordem de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , correspondendo a uma eficiência de remoção média de 86%. De acordo com Campos & Povinellil (1987) o sulfato de alumínio possui as seguintes características: faixa de pH entre 5,0 e

---

8,0, facilidade de transporte e manejo, custo baixo, além de ser o coagulante mais utilizado para o tratamento de água.

### 3. 4 Cultivo hidropônico com utilização de efluentes sanitários

Os métodos escolhidos para a aplicação de águas residuárias na agricultura, bem como o tipo de cultura e manejo utilizado, podem exercer papel fundamental na qualidade microbiológica final destes alimentos. Segundo a FAO (1992), sempre que águas residuárias forem consideradas como fonte de irrigação, a escolha de um sistema adequado poderá ser decisiva na produtividade, diminuição de contaminação da produção, do ambiente, exposição dos trabalhadores rurais, salinidade e riscos de toxicidade.

Dentre as técnicas de cultivo, a hidroponia é muito antiga e muito desenvolvida em países como o Japão, a Holanda e os Estados Unidos. No Brasil, o cultivo hidropônico encontra-se bastante disseminado, sendo que em todos os estados brasileiros esse método de cultivo é utilizado para produção de hortaliças (TEIXEIRA, 1996). Atualmente a hidroponia vem se aperfeiçoando graças aos avanços das pesquisas sobre meios e técnicas de cultivo.

O cultivo hidropônico inclui todos os tipos de cultivo sem solo, onde as plantas crescem fixadas em substrato ou são colocadas em canais de cultivo, por onde circula uma solução nutritiva em meio aquoso, com os nutrientes necessários ao desenvolvimento da planta e de acordo com a necessidade de cada espécie vegetal. Vários vegetais podem ser cultivados por essa técnica: verduras folhosas, legumes, ervas aromáticas, ervas medicinais, plantas ornamentais e gramíneas.

Segundo Faquin (1996) a grande vantagem da hidroponia deriva do fato de a produção prescindir de solo e clima, o que minimiza seus efeitos sobre o cultivo, garantindo assim, a produção de hortaliças durante todo o ano, além de aumentar sua produtividade e qualidade e obtendo melhores preços no

---

mercado. Países com invernos rigorosos, como Estados Unidos e Holanda, conseguiram resolver seus problemas de fornecimento de hortaliças à população através de cultivo hidropônico nesses períodos do ano. Outras vantagens desse método de cultivo são:

- Redução do uso de mão-de-obra nas atividades “braçais”, capina e preparo de solo, além das atividades na hidroponia serem consideradas mais suaves do que o cultivo no solo (CASTELLANE & ARAÚJO, 1995);
  - Melhor eficiência no uso da água e melhor controle de sua qualidade;
  - Possibilidade de produção de alimentos em pequenas áreas próximas aos grandes centros consumidores;
  - Melhor eficiência na utilização dos fertilizantes;
  - Redução no uso de agrotóxicos devido à melhor nutrição das plantas;
  - Possibilidade de aproveitamento de áreas inaptas ao cultivo convencional tais como zonas áridas e solos degradados (TEIXEIRA, 1996);
  - Cultivo livre de parasitas e microrganismos patogênicos para o ser humano provenientes de água de irrigação contaminada;
  - Melhor controle de doenças e pragas;
  - Possibilidade de automação quase completa;
  - Antecipação da colheita devido ao encurtamento do ciclo da planta (FAQUIN, 1996);
  - Rápido retorno econômico (FAQUIN, 1996);
  - Produtos mais limpos e de melhor qualidade biológica, como por exemplo, folhosas com níveis de nitrato controlados nos tecidos;
  - Dispensa rotatividade de culturas (TEIXEIRA, 1996);
  - Redução de erosão e degradação do meio ambiente por liberação de fertilizantes e agrotóxicos nos solos, contaminantes potenciais de lençóis freáticos;
  - Permite acompanhamento bem facilitado do sistema radicular quando não se usa substrato;
  - Adaptação de várias espécies a cultivar.
-

Como desvantagens a hidroponia apresenta um alto custo de instalação dos sistemas (SANTOS, 1998A; TEIXEIRA, 1996), exige uma assistência ou conhecimento técnico efetivo sobre a técnica e requer um acompanhamento permanente do funcionamento do sistema, principalmente do fornecimento de energia elétrica e controle da solução nutritiva (FAQUIN, 1996).

### 3.4.1 Técnica do fluxo laminar de nutrientes

Há várias técnicas de cultivo hidropônico já desenvolvidas e consolidadas. Jones Jr (1982) destacou que a técnica de nutrição às plantas mais aplicada nos sistemas hidropônicos é a Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT). Nessa técnica, as plantas, após transplantadas, desenvolvem seu sistema radicular apoiado em canais de cultivo (bancadas) por onde a solução nutritiva circula, intermitentemente, em intervalos definidos e controlados por um temporizador. Em síntese, o sistema NFT consiste numa bancada, em geral suspensa a uma certa altura do solo (em torno de 1,0 m), podendo ser fabricada com diversos materiais: telha de cimento amianto ou fibrocimento, tubos de PVC, entre outros.

Os canais podem conter substratos, como brita ou argila expandida, para a sustentação das plantas, porém, devido à limpeza trabalhosa que se faz necessário após cada cultivo, esses substratos não estão mais sendo utilizados. Atualmente, a sustentação das plantas é feita através de canais de cultivo em forma de tubos de polipropileno achatados com orifícios, que previnem a entrada de luz e o aquecimento do sistema radicular das plantas (TEIXEIRA, 1996). As bancadas têm uma inclinação em torno de 2% para permitir que o escoamento ocorra por ação da gravidade promovendo adequado fluxo da solução (FAQUIN, 1996). Segundo Resh (1997), o sistema de bancadas inclinadas é apropriado somente para plantas de perfis baixos, tais como, alface, morango, espinafre e algumas ervas, sendo que diferentes fatores devem ser considerados na arquitetura desse sistema:

---

- a base deve ter largura suficiente para eliminar qualquer sombreamento mútuo de uma fileira sobre a fileira inferior mais próxima;
- as fileiras dos canais de crescimento devem ser separadas umas das outras com distância adequada para permitir a altura do ponto de maturação da colheita;
- o comprimento total do canal, para qualquer combinação do número de fileiras, não pode exceder 30m de comprimento a fim de providenciar oxigenação suficiente.

A irrigação num sistema com NFT é feita a partir de reservatórios onde fica armazenada a solução nutritiva, geralmente homogeneizada por aeração. A manutenção constante de oxigênio à planta é essencial para que não sejam criadas condições de anaerobiose no sistema radicular, podendo se manifestar por meio de uma clorose generalizada, em decorrência da morte e do ataque de fungos e bactérias (STAFF, 1998). Um sistema de bombeamento e distribuição conduz a solução nutritiva através dos canais, sendo que em sistemas fechados ocorre recirculação da solução. A alimentação dos canais pode ser intermitente, onde o turno de rega é estabelecido pelo tempo e frequência de irrigação, determinado com base nas necessidades de cada cultura. A vazão de cada canal deve permanecer em torno de 1,5 a 2,0 L min<sup>-1</sup> (MARTINEZ & SILVA FILHO, 2004)

Para o bom desenvolvimento das plantas, elas necessitam de nutrientes essenciais em quantidades suficientes e proporções equilibradas (MALAVOLTA, 1980). Muitas fórmulas de soluções nutritivas têm sido usadas e até mesmo avaliadas quanto à produtividade. Pode-se dizer que não existe uma formulação que seja única e melhor para uma determinada espécie vegetal, uma vez que, as necessidades nutricionais das plantas variam com as espécies, cultivares, fotoperíodo, intensidade luminosa, temperatura e até mesmo com o estado de desenvolvimento das plantas (MARTINEZ, 1997). Trabalhos de Santos (1998b) mostram que não há grandes diferenças, na produtividade dos cultivos, entre as soluções nutritivas utilizadas comumente. Em geral, as soluções nutritivas em voga são baseadas na solução proposta

---

por Hoagland & Arnon em 1938, cujos níveis de macro e micronutrientes muito se assemelham aos atualmente preconizados.

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), cita 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 de 20 a 30°C (CASTELLANE & ARAÚJO, 1995).

De acordo com Martinez (1999), a composição da solução nutritiva varia de acordo com o crescimento da planta e a amplitude de variação depende da relação entre o seu crescimento e o volume de solução empregado. O crescimento das plantas não causa apenas decréscimo nas quantidades de sais disponíveis para as raízes, mas também, alterações qualitativas na solução, uma vez que nem todos os elementos são absorvidos nas mesmas proporções. Assim, a manutenção de um meio favorável ao desenvolvimento das plantas não envolve apenas a escolha de uma solução apropriada no plantio, mas do controle contínuo desta, o qual determinará a adição de sais, ajustes de pH e substituição periódica de toda a solução (MARTINEZ, 2002).

Atualmente, os estudos sobre a formulação de soluções nutritivas para diferentes culturas estão bem difundidos. Para a cultura da alface, Martinez & Silva Filho (2004) recomenda a solução descrita na Tabela 3-12.

---

Tabela 3-12: Solução nutritiva recomendada por Martinez & Silva Filho (2004) para o cultivo de alface.

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

Fonte: Martinez & Silva Filho (2004)

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).

### 3.5 A Cultura da alface (*Lactuca sativa* L.)

A alface é uma hortaliça folhosa, pertencente ao gênero *Lactuca* e à família *Chicoriaceae*. É caracterizada pelo hábito herbáceo devido ao caule muito curto e não ramificado, dando à planta um aspecto de roseta (BUENO, 1998).

A cultura possui folhas arredondadas, lanceoladas ou quase espatuladas, que podem encurvar-se e formarem a característica das variedades repolhudas, que é popularmente denominada de “cabeça”. Sua coloração varia de verde amarelado até o verde escuro. Filgueira (1982) cita que sua consistência pode ser coreácea ou tenra e pode possuir os bordos dos limbos foliares lisos, crespos ou ondulados. O sistema radicular da alface é do tipo pivotante, com ramificações finas e curtas que chegam alcançar de 15 à 30 cm de profundidade durante a fase vegetativa (MAROVELLI et al., 1989).

Essa hortaliça é conhecida e cultivada há milhares de anos (DAVIS et al., 1997). Acredita-se que foi introduzida no Brasil pelos portugueses, no século XVI, tornando-se, atualmente a hortaliça mais consumida pelos brasileiros. Segundo a Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2004) em 2003 foram produzidas no mundo 18. 966. 262 toneladas, com área plantada de 989,162 ha, alcançando produtividade média de 19,17 t/ ha. É a hortaliça folhosa de maior valor comercial cultivada no Brasil, sendo que as regiões Sul e Sudeste são as maiores consumidoras, e possui cerca de 75 cultivares comerciais, das quais, aproximadamente 18 são nacionais.

Quanto à forma de consumo, a OMS insere a alface no grupo A de vegetais, consumidos “*in natura*”. É ingerida com maior frequência em saladas cruas e sanduíches, portanto necessitam de maior controle na qualidade de água e manejo de irrigação com águas residuárias.

Em termos nutritivos, a alface é uma excelente fonte de vitamina A, possuindo ainda as vitaminas B1, B2, B5 e C, bem como os minerais cálcio, ferro, magnésio, fósforo, potássio e sódio (CAMARGO, 1992). É recomendada na dieta alimentar de pessoas em tratamento da obesidade e de doenças crônico-degenerativas (doenças cardiovasculares, diabetes mellitus e câncer) por apresentarem baixo valor calórico. Como planta nutracéutica (plantas com possibilidades de uso nutricional e medicinal), apresenta propriedades sedativas, é atóxica e medicinalmente usada como calmante suave.

---

Conforme Goto et al. (2001), a cultura da alface absorve quantidades relativamente pequenas de nutrientes, quando comparada a outras culturas. No entanto, pode ser considerada como exigente em nutrientes, principalmente na fase final do ciclo. Segundo Couto e Branco (1963), o nitrogênio é o nutriente que promove maior incremento na produtividade e no peso médio da alface, já que ela é composta basicamente por folhas. A deficiência do nitrogênio em alface retarda o crescimento da planta, induz ausência ou má formação da cabeça, as folhas mais velhas tornam-se amarelas e desprendem-se com facilidade. O fósforo também promove um aumento significativo na produção, embora menos que o nitrogênio. Com relação aos micronutrientes para a cultura da alface, o boro ocupa lugar de destaque (MALAVOLTA, 1980).

As temperaturas ótimas de crescimento dessa hortaliça encontram-se entre 15°C e 20°C (REISSER JR., 1991). Por ser uma planta de clima ameno, apresenta 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). O uso de telas de sombreamento e de cultivares adequadas às condições de temperatura e luminosidade elevadas pode contribuir para diminuir os efeitos extremos da radiação, promovendo uma planta vigorosa e de boa qualidade (RAMOS, 1995).

Por ser bastante sensível às condições adversas de temperatura, luminosidade, umidade e chuva, e devido às necessidades de aumentar a produção da alface, no contexto atual de desenvolvimento agrícola, têm surgido diferentes sistemas de cultivos de hortaliças em ambientes protegidos com o intuito de: propiciar um aumento no rendimento da produção, melhorar a qualidade dos produtos, produzir nas entressafras, otimizar o uso de pequenas áreas e utilizar os recursos hídricos de maneira racional.

Dentre os sistemas de produção da alface, três destacam-se como os mais difundidos: o orgânico, o convencional e o hidropônico. O sistema hidropônico NFT tem ganhado destaque na produção de hortaliças, sendo o preferido dentre os vários sistemas disponíveis pelas suas vantagens de praticidade e eficácia na produção.

---

### 3.6 Cultivo de plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)

O gênero *Phaseolus* originou-se nas Américas e possui cerca de 55 espécies, das quais cinco são cultivadas: *P. vulgaris* L., *P. lunatus* L., *P. coccineus* L., *P. acutifolius* A. Gray var. *latifolius* Freeman e *P. polyanthus* Greenman (DEBOUCK, 1993). Entre elas, o feijão-comum, *Phaseolus vulgaris* L., é o mais importante, por ser a espécie cultivada mais antiga e também a mais utilizada no mundo.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de feijão, disputando o primeiro lugar com o Japão (FERREIRA, 2001). A produção nacional de feijão está em torno de 2,7 milhões de toneladas, com uma área colhida de 4,9 milhões de hectares e produtividade de 570 kg ha<sup>-1</sup> (VIEIRA et al., 1998). A cultura de feijão tem sido implantada em várias áreas, dentre as quais destacam-se a região Noroeste de São Paulo, Sul de Mato Grosso, Goiás e Minas Gerais, utilizando-se irrigação e insumos modernos (FERREIRA et al., 2000). A importância dessa produção deve-se a que o feijão, além de se constituir em um dos alimentos básicos da população brasileira é um dos principais produtos fornecedores de proteína na dieta alimentar dos estratos sociais economicamente menos favorecidos. Seu valor energético e seu teor médio de proteína são relativamente elevados e em torno de 345 calorias 100g<sup>-1</sup> e 22%, respectivamente (VIEIRA, 1967).

Apesar da ampla distribuição geográfica do feijoeiro, ele é pouco tolerante a fatores extremos do ambiente, sendo uma cultura relativamente exigente no que diz respeito à maioria das condições edafoclimáticas. A temperatura média ótima durante o ciclo cultural é de 18 a 24°C (VIEIRA, 1967). As condições de temperatura e umidade predominantes no território brasileiro aceleram os processos de decomposição da matéria orgânica e perdas de nitrogênio (N), resultando em solos com teores pobres desse nutriente, entre 0,05 e 0,30% de N.

---

Como todas as leguminosas, o feijoeiro é uma cultura exigente em pH e, de acordo com Guedes & Junqueira Netto (1978), a faixa adequada do pH em água está entre 5,5 e 6,5. A cultura do feijão comum é sensível à salinidade do solo (DOORENBOS & KASSAM, 1994). A diminuição de rendimento em relação à condutividade elétrica do extrato de saturação do solo para valores de 1,0; 1,5; 2,3; 3,6 e 6,5 dS m<sup>-1</sup> é respectivamente de 0, 10, 25, 50 e 100%. Segundo Bernardo (1996), o feijão é considerado uma cultura pouco tolerante à salinidade da água de irrigação, podendo haver redução de até 50% na produção da cultura quando irrigada com água com valores acima de 2,4 dS m<sup>-1</sup> de condutividade elétrica.

Para o crescimento e desenvolvimento normais, as plantas necessitam de alguns elementos essenciais retirados do solo. Esses elementos são classificados de acordo com a quantidade requerida pelo vegetal. Os macronutrientes primários fósforo, nitrogênio e potássio, geralmente são empregados em maior proporção nas adubações e os macronutrientes secundários, enxofre, cálcio e magnésio, normalmente ocorrem nas plantas em quantidades menores. Já os micronutrientes são necessários em quantidades muito pequenas e são eles: ferro, zinco, cobre, manganês, boro, molibdênio e cloro e no caso do feijoeiro, o cobalto também é necessário.

Muitos trabalhos têm mostrado que o feijoeiro é bastante exigente em macro e micronutrientes (FAGERIA & SOUZA, 1995). Ele requer quantidades relativamente altas de N e K, e quantidades baixas de P, Ca, Mg e S (MALAVOLTA & LIMA FILHO, 1997).

O fósforo é constituinte dos aminoácidos e das proteínas, e a sua deficiência pode ser o principal fator da baixa produtividade do feijoeiro, pois limita o crescimento da planta e a fixação biológica do nitrogênio (GRAHAM, 1981). Quando o nível inicial de N disponível no solo é baixo, o período de alta demanda por N pela planta é retardado, podendo reduzir a fixação de N<sub>2</sub>, a nodulação e a produção (EAGLESHAM et al., 1983).

---

O nitrogênio é o nutriente requerido em maior quantidade pela cultura de feijão comum. Sabe-se que, para atingir produtividade de  $1,5 \text{ t.ha}^{-1}$  de grãos são necessários  $101 \text{ Kg N. ha}^{-1}$  dos quais 33% são exportados da lavoura pelos grãos e vagens (MALAVOLTA & LIMA FILHO, 1997). As três fontes de fornecimento de N são: o solo, pela decomposição da matéria orgânica, os fertilizantes nitrogenados e o processo de fixação biológica do nitrogênio atmosférico. Cerca de 70% da fixação de nitrogênio é biológica; 70% desta fixação biológica é de cultivo de plantas com grande importância agrônômica; 20% de toda a fixação do nitrogênio envolve associação de bactérias do gênero *Rhizobium* e leguminosas, com formação de nódulos (HUBBELL & KIDDER, 2003). Segundo Ferreira et al., (2000), a inoculação das sementes com *Rhizobium* constitui-se em um importante fator a ser utilizado na redução dos custos e conseqüente incremento na produção.

Dentre os organismos fixadores de nitrogênio, destaca-se o grupo constituído pelas bactérias do solo da família *Rhizobiaceae*, denominados genericamente de rizóbios. Eles caracterizam-se pela capacidade de interação simbiótica com o sistema radicular de leguminosas, por meio de formação de estruturas denominadas nódulos radiculares. Assim que a simbiose é estabelecida, a planta fornece fotoassimilados à bactéria, recebendo em troca produtos nitrogenados provenientes da fixação de  $\text{N}_2$ , como aminoácidos e ureídeos (SCHUBERT, 1986).

No Brasil, o feijão é freqüentemente cultivado em terras ácidas e de baixa fertilidade fazendo com que a adubação e a irrigação exerçam papéis importantes, uma vez que contribuem para o aumento da produtividade e do desenvolvimento da cultura. A não disponibilidade de água acarreta interrupção no transporte dos compostos nitrogenados dos nódulos para a planta, gerando um acúmulo de amônia e produtos finais nos nódulos e levando ao colapso total da fixação do  $\text{N}_2$ . Por esse e por outros motivos é que vem crescendo a incorporação de áreas irrigadas ao cultivo do feijão, o que melhora as condições de abastecimento do grão ao possibilitar a oferta do produto de forma praticamente ininterrupta ao longo do ano.

---

Como a demanda por água na agricultura vem crescendo, muitas vezes em regiões onde esse recurso natural já é escasso, a reutilização de efluentes sanitários surge como uma possível solução para o fornecimento de água e nutrientes para as culturas ao mesmo tempo em que disponibiliza a utilização de água doce de boa qualidade para o abastecimento das cidades.

---

## **6. *Material e Métodos***

### **4.1 Considerações gerais**

Os cultivos agrônômicos desta pesquisa foram realizados no parque experimental do Núcleo Água - Núcleo de Bioengenharia Aplicada ao Saneamento da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e as análises físico-químicas e microbiológicas foram efetuadas no Laboratório de Saneamento do Centro Tecnológico da UFES, localizado no Campus Universitário de Goiabeiras, em Vitória-ES. As análises de macro e micronutrientes nas plantas foram realizadas no Instituto Capixaba de Pesquisa, Assistência Técnica e Extensão Rural (Incaper), localizado no município de Vargem Alta, ES.

### **4.2 Cultivo hidropônico de alface e de plantas de feijão com efluentes provenientes do sistema de tratamento RAC + lagoa de polimento + pós-tratamento físico-químico**

#### **4.2.1 Estudo piloto com alfaces hidropônicas irrigadas com efluente**

Foi realizado um estudo piloto antes dos experimentos hidropônicos serem iniciados com o objetivo de se identificar os fatores que poderiam ter alguma influência nos resultados. Para isso, foram avaliadas as seguintes variáveis:

---

1. Posição das plantas nas canaletas e efeito de borda;
2. Presença/ausência de coliformes termotolerantes, coliformes totais, *E. coli*, *salmonella sp* e ovos de helmintos nas plantas avaliadas;
3. Decaimento de coliformes nos efluentes armazenados nos reservatórios da casa de vegetação durante o cultivo;
4. Dias de coleta. Devido ao grande número de plantas a serem estudadas foi avaliado se o dia da coleta influenciaria nos resultados das análises microbiológicas.

Para a análise estatística dos resultados microbiológicos e parasitológicos das alfaces coletadas ao término do experimento foi utilizado o teste não paramétrico de Kruskal Wallis. Este teste avaliou as diferenças significativas entre as médias das variáveis, segundo os fatores de variação: data de coleta das amostras, tratamentos utilizados na irrigação das alfaces e canaletas de cultivo (cada tratamento alimentava 4 canaletas).

#### 4.2.2 Descrição do sistema de tratamento RAC + lagoa de polimento + pós-tratamento físico-químico

##### 4.2.2.1 Pré –tratamento

O esgoto bruto proveniente de Jardim da Penha, um bairro de classe média e adjacente ao Campus de Goiabeiras, é bombeado da estação elevatória localizada nesse bairro e operada pela CESAN – Companhia Espírito Santense de Saneamento, para a estação elevatória localizada no parque experimental do Núcleo Água.

Ao chegar no parque experimental do Núcleo Água, o esgoto bruto passa por um sistema de gradeamento instalado a montante da estação elevatória, cuja principal finalidade é proporcionar a remoção dos sólidos suspensos

---

grosseiros, melhorando as características do esgoto a ser tratado e protegendo os dispositivos de transporte e as unidades de tratamento.

#### 4.2.2.2 Reator anaeróbico compartimentado

O reator anaeróbico compartimentado (RAC) é uma variação de configuração do reator UASB convencional, sendo constituído de dois compartimentos concêntricos destinados a biodegradação da matéria orgânica e à sedimentação da matéria particulada, com o objetivo de gerar um efluente anaeróbico mais clarificado (CHERNICHARO, 2001). O RAC foi construído em fibra de vidro e possui as seguintes especificações: seção circular de 1,60 m de diâmetro, altura total de 3,58 m e volume total de 7,20 m<sup>3</sup>. Esse sistema foi inserido a montante da lagoa de polimento e opera a vazão constante de 0,1 L s<sup>-1</sup>, o que corresponde ao esgoto tratado de uma população de 50 habitantes (Figura 4-1).



Figura 4-1: Reator anaeróbico compartimentado (RAC).

O esgoto bruto armazenado na estação elevatória do parque experimental do Núcleo Água é recalcado até o RAC, atravessando primeiramente, a câmara de digestão, onde se encontram a manta e o leito de lodo e ocorrem as reações

de estabilização da matéria orgânica. Após essa etapa, o efluente segue para a câmara de sedimentação, onde os sólidos restantes sedimentam por gravidade e formam o lodo, que necessita ser removido periodicamente. O sentido do fluxo é ascendente em ambos os compartimentos. Tendo em vista que a altura de lodo na câmara de sedimentação influencia na qualidade do efluente anaeróbio, foram acopladas 6 torneiras ao longo do reator para identificação da altura do lodo e programação dos descartes.

#### 4.2.2.3 Lagoa de polimento

A lagoa de polimento (Figura 4-2) é formada por um tanque executado em alvenaria estrutural, com área de seção retangular medindo 8 m de comprimento e 4 m de largura, totalizando 32 m<sup>2</sup>. A relação L/B igual a 2 foi estabelecida a fim de garantir que o regime de escoamento em seu interior tenda para o pistão, mais adequado para a remoção de matéria orgânica e microorganismos em geral. A lagoa recebe esgoto proveniente do RAC e possui 1,40 m de altura e 0,10 m de borda livre, totalizando uma altura útil de 1,30 m e um volume útil de 41,6 m<sup>3</sup>. Essas medidas são suficientes para garantir as condições de aerobiose e anaerobiose necessárias ao adequado funcionamento das lagoas facultativas.

---



---

Figura 4-2: Lagoa de polimento.

#### 4.2.2.4 Sistema de pós-tratamento físico-químico

Um sistema de pós-tratamento físico-químico (T.F.Q.) foi acoplado à lagoa de polimento, imediatamente a montante do vertedouro de saída do efluente da lagoa, com o objetivo de realizar o pós-tratamento da lagoa de polimento, produzindo um efluente passível de ser reutilizado para diversos fins. O sistema de pós-tratamento físico-químico é constituído por uma associação em série de uma unidade de mistura, três flocculadores granulares e um decantador lamelar (Figura 4-3).

---



Figura 4-3: Sistema de pós-tratamento físico-químico.

A unidade de mistura possui seção plana de 0,20 m x 0,26 m, profundidade de 0,21 m e tempo de detenção hidráulica de 1,3 min, para uma vazão afluyente de  $0,1 \text{ L s}^{-1}$ . O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio líquido.

Os floculadores granulares foram construídos em PVC com diâmetro nominal de 100 mm, altura de 1,20 m e altura útil de 1,00 m cada. O material que compõe o leito dos floculadores foi classificado como agregado graúdo.

O decantador lamelar, construído em fibra de vidro, possui volume total igual a 161 litros, seção quadrada de 35 cm x 35 cm e altura total igual a 1,38 m. Em seu interior encontram-se instaladas 5 placas paralelas distantes 5 cm entre si, inclinadas a  $60^\circ$  em relação à horizontal. O efluente floculado escoa pelo decantador em fluxo ascendente através das placas a uma taxa de  $81,4 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \text{ dia}^{-1})$ , totalizando um tempo de detenção igual a 27 min. O lodo gerado é armazenado em um depósito localizado no fundo do decantador, que possui 29,4 L de capacidade.

### 4.2.3 Monitoramento do sistema de tratamento RAC + lagoa de polimento + pós-tratamento físico-químico

A etapa de monitoramento iniciou-se em janeiro de 2005 a fim de avaliar a qualidade do efluente tratado pelo sistema composto pela associação RAC + lagoa de polimento + pós-tratamento físico-químico.

Durante a etapa de monitoramento, realizou-se a amostragem nos seguintes pontos:

- Esgoto afluente ao reator anaeróbio;
- Esgoto efluente ao reator anaeróbio e afluente à lagoa de polimento: coletado na saída do RAC;
- Esgoto efluente da lagoa de polimento e afluente ao sistema de tratamento físico-químico;
- Esgoto efluente do sistema de pós-tratamento físico-químico (efluente final): coletado na saída do decantador lamelar.

#### 4.2.3.1 Amostragem simples

A amostragem simples refere-se à coleta instantânea de amostras nos pontos de coleta: RAC, lagoa de polimento e pós-tratamento físico-químico. Essa modalidade de amostragem foi realizada sempre às 14 horas, sendo que os parâmetros físico-químicos DQOt, DQOf, SST, pH, turbidez e OD foram analisados 5 vezes por semana enquanto que DBO<sub>5</sub>, S<sub>sed</sub>, clorofila "a", Pt, P-PO<sub>4</sub><sup>-3</sup>, NTK, N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> foram avaliados 2 vezes por semana.

Além das análises físico-químicas, foram realizadas quinzenalmente as seguintes análises microbiológicas: coliformes totais, *E. coli* e *Salmonella sp.*

---

#### 4.2.3.2 Amostragem composta

A amostragem composta refere-se à coleta de uma amostra que seja representativa das possíveis variações ocorridas em um determinado processo no período de 24 horas. Para a realização dessa amostragem foi utilizado um coletor automático refrigerado na coleta do efluente da lagoa de polimento (da marca Policontrol) e uma micro-bomba peristáltica usada na coleta do efluente físico-químico.

Os seguintes parâmetros microbiológicos foram analisados quinzenalmente nas amostragens compostas: cistos de *Giardia sp*, oocistos de *Cryptosporidium spp* e ovos de helmintos.

#### 4.2.3.3 Análise de metais

As análises de potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, zinco, manganês, alumínio, boro, sódio e enxofre foram realizadas em amostras compostas de efluente da lagoa de polimento e do tratamento físico-químico pela técnica de espectrometria de absorção atômica com chama (F-AAS).

#### 4.2.3.4 Metodologia de análise

As análises físico-químicas foram realizadas conforme recomendações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – 19<sup>o</sup> Edição (APHA et al., 1995) e encontrem-se referenciadas na Tabela 4-1.

---

Tabela 4-1: Resumo das metodologias de análises físico-químicas.

| <i>Caracteres físico-químicos</i>                               | Métodos   | Referência                                   |
|---|---|--|
| DQO (total e filtrada)  | Oxidação por dicromato de potássio em meio ácido      | STANDARD METHODS 5220 D, 1995                |
| DBO <sub>5</sub>  | Método respirométrico                                 | STANDARD METHODS 5210 D, 1995                |
| Turbidez  | Método nefelométrico                                  | STANDARD METHODS 2130 B, 1995                |
| SST, ST e SV  | Método gravimétrico                                   | STANDARD METHODS 2540, 1995                  |
| pH  | Método eletrométrico                                  | STANDARD METHODS 4500-H <sup>+</sup> B, 1995 |
| OD  | Método eletrodo-membrana                              | STANDARD METHODS 4500-O G, 1995              |
| Temperatura   | Método de laboratório e de campo                      | STANDARD METHODS 2550 B, 1995                |
| P <sub>t</sub> e P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>                | Método do ácido ascórbico pela oxidação em meio ácido | STANDARD METHODS 4500 P, 1995                |
| NTK e N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>                            | Método Semi-Micro Kjeldahl                            | STANDARD METHODS 4500 C, 1995                |
| N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> e N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | Método da Coluna Redutora de Cádmio                   | STANDARD METHODS 4500 E, 1995                |

Para análise do número mais provável (NMP) de coliformes totais e *E. coli* utilizou-se o meio cromo-fluorogênico (LMX), com quantificação por meio de cartelas, enquanto que para a detecção de *Salmonella sp* foi utilizada a técnica desenvolvida pela CETESB-L5. 218 (1993).

A concentração de oocistos de *Cryptosporidium ssp* e cistos de *Giardia sp* foi determinada pelo método desenvolvido por Vesey et al. (1993). A detecção e enumeração dos protozoários foi efetuada com o kit MeriFluor, sendo examinado em microscópio de imunofluorescência com aumento de 200 e 400 vezes. Para a detecção de ovos de helmintos, utilizou-se a técnica descrita por Zerbini & Chernicharo (2001) adaptada para efluentes.

Para a determinação da concentração de clorofila "a" um volume conhecido da amostra foi filtrado em membrana de microfibras de vidro, retenção nominal de 0,8 a 8,0 micra, com 47 mm de diâmetro. Para a extração da clorofila a foi utilizado o método da acetona 95% (CARL J. LORENZEN, 1967). Após 24 horas na geladeira, o material foi centrifugado por 1 hora e o sobrenadante foi

removido e as absorvâncias foram determinadas pela leitura em espectrofotômetro óptico nos comprimentos de onda 750 nm e 665 nm. Seqüencialmente à primeira leitura, as amostras foram acidificadas (HCL 0,01N) e uma nova leitura foi realizada para determinação dos feopigmentos.

A análise de metais foi realizada de acordo com metodologias descritas no Standard Methods (APHA, 1995) e condições instrumentais do equipamento (Varian 1275), as quais são reproduzidas na Tabela 4-2.

Tabela 4-2: Condições instrumentais do equipamento para análises de metais.

| Metal | Comprimento de onda (nm) | Corrente LCO (mA) | Fenda (nm) | Faixa ótima de trabalho | LD (mg/L) |
|-------|--------------------------|-------------------|------------|-------------------------|-----------|
| K     | 766,5                    | 5                 | 1,0        | 0,4-1,5                 | 0,02      |
| Mg    | 285,2                    | 4                 | 0,5        | 0,1-0,4                 | 0,02      |
| Fe    | 248,3                    | 5                 | 0,2        | 2-9                     | 0,2       |
| Al    | 309,3                    | 10                | 0,5        | 25-110                  | 0,9       |
| Ca    | 422,7                    | 4                 | 0,5        | 1-4                     | 0,04      |
| Zn    | 213,9                    | 5                 | 1,0        | 0,4-1,5                 | 0,05      |
| Cu    | 324,8                    | 4                 | 0,5        | 1-5                     | 0,03      |
| Mn    | 279,5                    | 5                 | 0,2        | 1,3-6,0                 | 0,07      |
| Na    | 589,0                    | 5                 | 0,5        | 0,2-0,7                 | 0,01      |

Legenda: LCO = lâmpada de catodo oco, LD = limite de detecção (3 x desvio padrão do branco de preparação / inclinação da curva)

No sentido de se evitar erros na análise devido à presença de material particulado na amostra, o que poderia causar problemas analíticos (entupimento no nebulizador, interferências químicas, etc), optou-se por realizar a mineralização das amostras com ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) antes das análises. Para cada 50mL de amostra foram adicionadas 2 porções de 5mL de HNO<sub>3</sub> supra-puro e a solução foi aquecida por 2 horas até clarear. A solução final foi transferida para balão volumétrico de 50mL e seu volume completado com HNO<sub>3</sub> 0,2% para ser analisada no espectrômetro, após a construção das curvas analíticas a partir de solução padrão 1000 mg L<sup>-1</sup> do metal.

#### 4.2.3.5 Análise estatística

A análise estatística dos resultados das análises realizadas nos efluentes foi efetuada através do pacote estatístico MINITAB versão 13.0.

#### 4.2.4. Experimentos hidropônicos

##### 4.2.4.1 Casa de vegetação

A casa de vegetação utilizada no experimento, localiza-se no parque experimental do Núcleo Água e é do modelo teto em arco, com dimensões de 6,60 m de largura, 19,40 m de comprimento e 3,30 m de altura. É adaptada com cobertura de filme plástico transparente de 150  $\mu\text{m}$  de espessura, telado de arame com malha de 10 mm nas laterais e tem grande resistência aos ventos e intempéries (Figura 4-4).



Figura 4-4: Casa de vegetação localizada na UFES.

#### 4.2.4.2 Sistema hidropônico

A técnica hidropônica de cultivo adotada no experimento foi a Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT), na qual uma fina lâmina de solução nutritiva (ou esgoto) percorre ao longo das canaletas de cultivo e o sistema radicular da planta fica parcialmente submerso absorvendo os nutrientes. A alimentação das alfaces foi feita através de canaletas cobertas para evitar a penetração de luz solar no filme nutriente e a proliferação de algas.

O sistema completo contou com quatro subsistemas independentes (bancadas), com quatro canaletas de cultivo cada (Figura 4-5). A alimentação dos canais de cultivo foi efetuada com solução nutritiva convencional e com esgoto tratado proveniente da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico, com uma vazão de 1,5 litros de solução por minuto. O sistema, que permite a recirculação do efluente em sistema fechado, é composto de:

- 1- Quatro reservatórios de fibra para armazenagem da solução nutritiva e dos efluentes, com capacidade para 500 L ;
  - 2- Uma moto-bomba;
  - 3- Tubulação de recalque de solução nutritiva em PVC;
  - 4- Barrilete de distribuição da solução nutritiva nos canais de cultivo composto de tubo de PVC e tubos flexíveis;
  - 5- Canais de cultivo em polipropileno;
  - 6- Tubulação em PVC para retorno de solução nutritiva ao reservatório;
  - 7- Sistema de oxigenação da solução nutritiva tipo 'venturi', construído em tubo de PVC estreitado após aquecimento e com perfuração lateral para a entrada de ar por sucção;
  - 8- Temporizador acoplado a um contador programado para acionar as motobombas durante 15 minutos, com intervalos de 15 minutos, no período diurno (6h às 18h), e no período noturno (18h às 6h) o sistema era acionado por 30 minutos e permanecia desligado por 30 minutos.
-

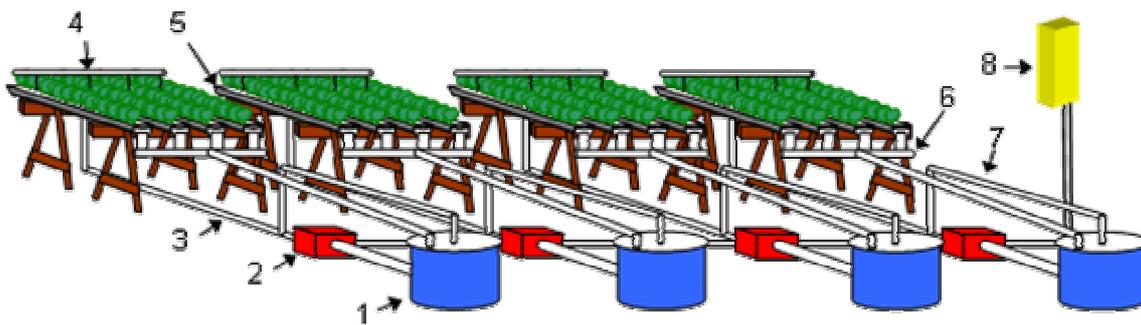


Figura 4-5: Esquema de construção da bancada de cultivo hidropônico do tipo NFT.

Legenda: 1- Reservatório de solução nutritiva; 2- Motobomba; 3- Tubulação de recalque de solução; 4- Barrilete de distribuição da solução nutritiva; 5- Canal de cultivo; 6- Tubulação de retorno da solução; 7- Tubulação de oxigenação da solução; 8- Temporizador/Contator para acionamento das motobombas.

Cada subsistema contou com quatro canais de cultivo, contendo 23 plantas por canal. Cada canal de cultivo foi considerado uma repetição, sendo que os quatro diferentes tratamentos foram distribuídos nos subsistemas de forma aleatória.

#### 4.2.4.3 Delineamento experimental

O delineamento experimental do cultivo hidropônico com alface constou de blocos casualizados, com 4 tratamentos e 4 repetições. Os tratamentos estão representados abaixo:

- T1- Irrigação com solução nutritiva convencional
- T2- Irrigação com efluente do pós-tratamento físico-químico
- T3- Irrigação com efluente da lagoa de polimento
- T4- Irrigação com efluente da lagoa de polimento diluído 50%

#### 4.2.4.4 Solução nutritiva

As plantas têm grande capacidade de se adaptarem a diferentes soluções nutritivas já que a absorção das mesmas é seletiva. A solução nutritiva utilizada neste experimento foi baseada na formulação descrita por Martinez & Silva Filho (2004), cuja composição química encontra-se descrita na coluna “T1” da Tabela 4-3.

O uso de esgotos tratados neste experimento, como substituto parcial de soluções nutritivas sintéticas, foi realizado com correção das composições dos tratamentos T2, T3, e T4 e ajuste do pH dos tratamentos, quando necessário, em função da cultura de alface.

Tabela 4-3: Nutrientes adicionados aos 4 diferentes tratamentos armazenados nos reservatórios da casa de vegetação.

| Composto                           | T1     | T2     | T3     | T4     |
|------------------------------------|--------|--------|--------|--------|
| Nitrato de Cálcio (g)              | 450,00 | 450,00 | 450,00 | 450,00 |
| Nitrato de Potássio (g)            | 67,00  | *      | *      | 55,93  |
| Sulfato de Potássio (g)            | 140,00 | 140,00 | 140,00 | 140,00 |
| Sulfato de Magnésio (g)            | 247,50 | 247,50 | 247,50 | 247,50 |
| Cloreto de Potássio (g)            | 69,00  | 85,00  | 93,00  | 47,32  |
| Fosfato Monoamônico (g)            | 71,00  | *      | *      | *      |
| Fosfato Monobásico de Potássio (g) | *      | 57,00  | 44,00  | 51,15  |
| Ferrilene (g)                      | 5,98   | 5,98   | 5,98   | 5,98   |
| Solução de Micronutrientes (mL)    | 100 mL | 100 mL | 100 mL | 100 mL |

Legenda: T1- Solução nutritiva convencional, T2- Efluente da unidade físico-química de tratamento, T3- Efluente da lagoa de polimento, T4- Efluente da lagoa de polimento diluído 50%

\* nutriente não utilizado

Após a lavagem semanal dos reservatórios e posterior reposição das diferentes soluções, os nutrientes foram adicionados a cada reservatório visando o atendimento das necessidades nutricionais das plantas, disponibilizando às mesmas, seus elementos essenciais. A quantidade de nutrientes adicionada nos efluentes foi calculada de acordo com a quantidade dos macronutrientes já existente nos efluentes tratados na lagoa de polimento e na unidade físico-química de tratamento (Tabela 4-3).

#### 4.2.4.5 Plantio e irrigação das sementes de alface

Foram realizados dois cultivos, sendo que o primeiro foi no período de 21 de janeiro a 21 de março (cultivo de verão) e o segundo no período de 03 de junho a 02 de agosto de 2005 (cultivo de inverno). As temperaturas máxima, média e mínima da cidade de Vitória durante esse período foram fornecidas pelo Incaper e o monitoramento da temperatura dentro da casa de vegetação foi realizado diariamente.

Sementes peletizadas de alface foram semeadas em substratos de espuma fenólica e mantidas úmidas com água destilada em local sombreado por 48 horas. Após esse período as mudas foram expostas à luz natural e a umidade repostada diariamente com a solução nutritiva diluída a 50% da concentração original (Figura 4-6). Aos 15 dias após a semeadura, quando a maioria das plantas apresentava quatro folhas definitivas, as células de espuma fenólica com as mudas foram destacadas e colocadas nos canais de cultivo, sendo submetidas às quatro diferentes soluções (Figura 4.7).

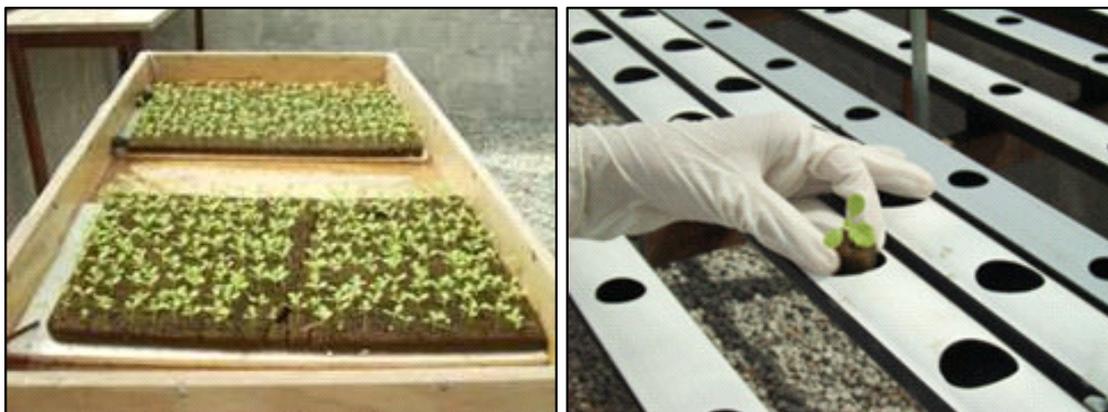


Figura 4-6: Plantio de sementes de alface peletizadas em espuma fenólica.

Figura 4-7: Transplante de mudas de alface para os canais de cultivo.

Os efluentes foram conduzidos para a casa de vegetação através de uma bomba centrífuga de 500gph (galões por hora) e armazenados nos reservatórios. A água utilizada para o preparo da solução nutritiva convencional (T1) foi oriunda da concessionária local (CESAN), cujas médias das

características cor aparente, turbidez, pH, flúor (F), cloro residual livre (CRL) e coliformes totais foram monitoradas diariamente no período de 01/01/2005 até 22/05/2006 (Tabela 4.4).

Tabela 4-4: Resultado do monitoramento da água utilizada nos experimentos hidropônicos.

| Cor aparente<br>mg Pt-Co/L | Turbidez<br>NTU | pH   | F<br>mg F/L | CRL<br>mg Cl/L | Coliformes<br>Totais<br>NMP/100 mL |
|----------------------------|-----------------|------|-------------|----------------|------------------------------------|
| < 5                        | 1,00            | 7,33 | 0,78        | 1,2            | < 1                                |

Os nutrientes foram pesados conforme a formulação apresentada na Tabela 4-3 e em seguida os sais foram diluídos separadamente, na própria solução utilizada e então adicionados aos quatro reservatórios, na seguinte ordem: primeiro os macronutrientes e depois os micronutrientes sem o ferro (Figura 4-8). Depois de realizada a homogeneização da solução nutritiva, adicionou-se a fonte de ferro.



Figura 4-8: Adição dos nutrientes nos reservatórios.

As soluções foram aeradas nos reservatórios, com o objetivo de converter o nitrogênio amoniacal, tóxico para as plantas, em sua forma de nitrogênio melhor assimilável, o nitrato; bem como oxigenar adequadamente as raízes das alfaces hidropônicas. Os tratamentos armazenados nos reservatórios foram transferidos para as canaletas da casa de vegetação através do conjunto moto-bomba com timer programado para acionar as bombas de 15 em 15

minutos durante o dia e de 30 em 30 minutos durante a noite. A vazão utilizada foi a de 1,5 litros por minuto.

#### 4.2.4.6 Monitoramento das soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação

Os quatro reservatórios que armazenavam os diferentes tratamentos utilizados no experimento foram esvaziados e lavados semanalmente. As soluções nutritivas foram monitoradas diariamente através da leitura do pH, da condutividade elétrica e da temperatura das soluções. Quando necessário o pH foi ajustado.

#### 4.2.4.7 Procedimento de coleta das amostras

Depois de um período de crescimento das alfaces de aproximadamente 35 dias após o transplante, as amostras foram coletadas aleatoriamente nas canaletas na véspera das avaliações microbiológicas e armazenadas em geladeira. Alguns cuidados durante a coleta foram tomados para evitar a contaminação das amostras como uso de luvas e de tesouras esterilizadas para o corte das raízes (Figura 4-9) e sacos plásticos para armazenamento da parte aérea das alfaces (Figura 4-10).

---



Figura 4-9: Corte da raiz da alface durante a coleta das amostras.

Figura 4-10: Armazenamento da parte aérea das alfaces em sacos plásticos para análise microbiológica.

#### 4.2.4.8 Análises microbiológicas da parte aérea das alfaces

A coleta das amostras para as análises microbiológicas foi realizada em dois dias consecutivos. Foram coletadas 16 amostras por tratamento, ou seja, 64 alfaces tiveram sua parte aérea assepticamente picadas e uma sub amostra de 25 g foi pesada, acondicionada em sacos plásticos esterilizados com 225 mL de água tamponada e homogeneizada vigorosamente. A partir desta diluição inicial a  $10^{-1}$  foram realizadas as análises de coliformes totais e *E. coli* pela técnica de substrato cromofluorogênico conforme Standard Methods (APHA, 1995). A análise de *Salmonella* sp, foi realizada em 4 amostras de cada tratamento, pela técnica da CETESB L5.218 (1993), modificada.

#### 4.2.4.9 Avaliações agronômicas

A coleta das amostras para as análises de massa fresca e seca da parte aérea e da raiz foi realizada na parte da manhã para evitar variações na determinação da massa fresca. Foram colhidas 16 plantas por tratamento, que tiveram sua parte aérea e suas raízes separadas e pesadas imediatamente após sua retirada do canal de cultivo.

Para a determinação da massa seca da planta, as amostras foram embaladas em sacos de papel, separando-se parte aérea e raízes, e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até atingirem peso constante. As plantas foram pesadas em balança digital com precisão de 0,001 grama.

#### 4.2.4.10 Análise dos nutrientes da parte aérea das alfaces

As avaliações dos teores de nutrientes nas alfaces foram realizadas por meio da amostragem da massa seca da parte aérea. Foram analisadas 4 amostras por tratamento, de forma que 4 plantas de cada canaleta tiveram suas massas secas da parte aérea misturadas em proporções idênticas, compondo, assim, 16 amostras compostas.

Após secagem em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, a parte aérea das alfaces foi moída e submetida às seguintes análises: 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). As análises foram realizadas de acordo com metodologias descritas por Bataglia (1983) e encontram-se referenciadas na Tabela 4-5.

---

Tabela 4-5: Resumo das metodologias de análises da parte aérea das alfaces.

| <i>Parâmetro</i>                                       | Métodos                                    | Referência      |
|--|--|-----------------|
| Nitrogênio   | Determinação por Titulação (Kjeldahl)      | Bataglia (1983) |
| Fósforo  | Espectrofotômetro de colorimetria (725 nm) | Bataglia (1983) |
| Enxofre  | Espectrofotômetro de colorimetria (420 nm) | Bataglia (1983) |
| Potássio   | Fotômetro de chama                         | Bataglia (1983) |
| Boro   | Espectrofotômetro de colorimetria (420 nm) | Bataglia (1983) |
| Ferro, Cálcio, Magnésio, Cobre, Zinco, Manganês, Sódio | Espectrofotometria de absorção atômica     | Bataglia (1983) |

#### 4.2.4.11 Análises das microalgas e dos sólidos suspensos totais agregados às raízes das alfaces

Foi realizado um terceiro cultivo, no período de verão, para se avaliar a hipótese de que as algas e os sólidos presentes na lagoa de polimento poderiam comprometer o crescimento das plantas cultivadas com o efluente da lagoa não diluído e diluído 50%. Foram efetuadas duas coletas e as análises de contagem e identificação de algas e de sólidos suspensos totais foram realizadas nas raízes das alfaces irrigadas com a solução nutritiva convencional (T1) e com os efluentes da lagoa de polimento não diluído (T3) e diluído 50% (T4).

#### 4.2.4.12 Análise estatística

O teste F (ANOVA) foi utilizado para comparar as médias das variáveis segundo os 4 tratamentos. Os resultados das variáveis que apresentaram

diferenças significativas foram submetidos ao teste de Duncan, no intuito de determinar os subgrupos diferentes ao nível de 5% de significância.

## 4.2.5 Cultivo de plantas de feijão

Os ensaios agronômicos foram realizados na casa de vegetação do parque experimental do Núcleo Água, cultivando-se plantas de feijão (*Phaseolus vulgaris L.*), cultivar carioca.

### 4.2.5.1 Semeadura

Cem vasos foram revestidos com sacolas plásticas para evitar a lixiviação e seu volume (3 litros) preenchido com o substrato utilizado no cultivo, um solo argilo-arenoso. A semeadura foi realizada com 10 sementes por vaso, previamente inoculadas com bactérias do gênero *Rhizobium*. Após duas semanas do plantio procedeu-se o desbaste permanecendo 5 plantas por vaso. O ciclo de crescimento das plantas foi de 35 dias com irrigação e monitoramento da temperatura da casa de vegetação diários.

### 4.2.5.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido em quatro blocos casualizados (B1, B2, B3 e B4), sendo cada bloco composto por 5 tratamentos e cada tratamento conduzido com 5 vasos contendo 5 plantas em cada vaso (totalizando 100 vasos).

Os tratamentos utilizados na fertirrigação das plantas de feijão foram os seguintes:

T1- Adubação química + irrigação com água

T2- Irrigação com efluente de lagoa de polimento diluído 25%

T3- Irrigação com efluente de lagoa de polimento diluído 50%

---

T4- Irrigação com efluente de lagoa de polimento diluído 75%

T5- Irrigação com efluente de lagoa de polimento não diluído

#### 4.2.5.3 Caracterização do solo utilizado no experimento

Uma amostra do solo utilizado foi coletada, antes da implantação do experimento, sem nenhum tipo de adubação ou correção da mesma e submetida as seguintes análises: soma de bases trocáveis (SB), capacidade de troca catiônica efetiva (CTC (t)), capacidade de troca catiônica a pH 7,0 (CTC (T)), índice de saturação de alumínio (m), índice de saturação de bases (V), índice de saturação de sódio (ISNa), matéria orgânica (MO), pH, magnésio, fósforo, cobre, ferro, manganês, zinco, cálcio, boro, alumínio, sódio e potássio. As análises foram realizadas no Laboratório de Solos do Incaper, segundo metodologia proposta pela Embrapa (1997).

#### 4.2.5.4 Avaliações agronômicas

As plantas foram avaliadas através das características: altura, massa fresca e seca de parte aérea e de raiz. A altura dos feijoeiros foi medida 35 dias após a semeadura, no mesmo dia da coleta. Foram colhidas 5 amostras por tratamento que tiveram sua parte aérea e suas raízes separadas (Figuras 4.11 e 4.12). A parte aérea dos feijoeiros foi pesada imediatamente enquanto que as raízes foram lavadas e postas temporariamente sob jornais, para reter o excesso da umidade, antes de serem pesadas.

---



Figura 4-11: Coleta da parte aérea dos feijoeiros.



Figura 4-12: Coleta das raízes dos feijoeiros.

Para a determinação da massa seca da planta, as amostras foram embaladas em sacos de papel, separando-se parte aérea e raízes, e colocadas em estufa com circulação forçada de ar a 60 °C, até massa constante. As plantas foram pesadas em balança digital com precisão de 0,001 grama.

#### 4.2.5.5 Análise dos nutrientes da parte aérea dos feijoeiros

As avaliações dos teores de nutrientes nos feijoeiros foram realizadas por meio da amostragem da parte aérea. As amostras oriundas da determinação de massa de material seco foram moídas em moinho tipo Willey e submetidas as seguintes análises: nitrogênio, fósforo potássio, cálcio, enxofre, magnésio, cobre, ferro, zinco, manganês, boro e sódio. As análises foram realizadas de acordo com metodologias descritas por Bataglia (1983) e encontram-se referenciadas na Tabela 4-6.

Tabela 4-6: Resumo das metodologias de análises da parte aérea do feijão.

| <i>Parâmetro</i>                                       | Métodos                                    | Referência      |
|--|--|-----------------|
| Nitrogênio   | Determinação por Titulação (Kjeldahl)      | Bataglia (1983) |
| Fósforo  | Espectrofotômetro de colorimetria (725 nm) | Bataglia (1983) |
| Enxofre  | Espectrofotômetro de colorimetria (420 nm) | Bataglia (1983) |
| Potássio   | Fotômetro de chama                         | Bataglia (1983) |
| Boro   | Espectrofotômetro de colorimetria (420 nm) | Bataglia (1983) |
| Ferro, Cálcio, Magnésio, Cobre, Zinco, Manganês, Sódio | Espectrofotometria de absorção atômica     | Bataglia (1983) |

#### 4.2.5.6 Análise estatística

Para as diversas variáveis estudadas o valor da parcela experimental foi a média dos 5 vasos (5 plantas por vaso) de cada tratamento dentro de um mesmo bloco.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância seguindo o modelo estatístico do delineamento em blocos ao acaso:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + e_{ij} \text{ onde,}$$

$Y_{ij}$  = valor da característica observada na parcela que recebeu o  $i$ -ésimo tratamento pertencente ao  $j$ -ésimo bloco;

$\mu$  = média geral da característica;

$T_i$  = efeito do  $i$ -ésimo tratamento ( $i = 1, 2, \dots, 5$ );

$B_j$  = efeito do  $j$ -ésimo bloco ( $j = 1, 2, 3, 4$ );

$e_{ij}$  = efeito do erro experimental, sendo  $e_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$ .

A hipótese testada pela estatística F foi  $H_0 : \mu_{T1} = \mu_{T2} = \dots = \mu_{T5}$ , que se refere à média dos tratamentos. O esquema de análise de variância é apresentado na

Tabela 4-7. Para as variáveis, cuja análise de variância indicou diferenças estatísticas significativas entre tratamentos, foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey, a nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4-7: Esquema da análise de variância.

| Fonte de Variação | Grau de Liberdade | Quadrado Médio | Teste F |
|-------------------|-------------------|----------------|---------|
| Blocos            | (r-1)             | -              |         |
| Tratamentos       | (t-1)             | QMT            | QMT/QMR |
| Resíduo           | (r-1)(t-1)        | QMR            |         |
| Total             | (rt-1)            | -              | -       |

## 5. Resultados e Discussão

### 5.1. Monitoramento do sistema RAC + lagoa de polimento + pós-tratamento físico-químico

Os resultados do monitoramento do sistema RAC + lagoa de polimento + tratamento físico-químico (T.F.Q) através da coleta de amostras simples e compostas do esgoto bruto, do efluente do reator anaeróbio, do efluente da lagoa de polimento e do efluente do pós-tratamento físico-químico serão apresentados e discutidos neste item.

#### 5.1.1 Condições operacionais

A Tabela 5-1 resume as principais características operacionais do RAC e da lagoa de polimento durante o período avaliado.

Tabela 5-1: Estatísticas operacionais referentes ao RAC e a lagoa de polimento.

|   |               | RAC  | Lagoa de polimento |
|---|---------------|------|--------------------|
| Tempo de detenção hidráulica (d)                  | n             | 110  | 110                |
|   | media         | 12,8 | 5,0                |
|   | desvio padrão | 2,8  | 0,8                |
| Taxa aplicação superficial ( $m^3/m^2 \times d$ ) | n             | -    | 110                |
|   | media         | -    | 0,26               |
|   | desvio padrão | -    | 0,03               |
| Carga DBO <sub>5</sub> afluyente (Kg/DBO/ha*d)    | n             | -    | 50                 |
|   | media         | -    | 318                |
|   | desvio padrão | -    | 85                 |

A vazão média de alimentação do sistema durante o período de avaliação foi de  $0,1 \text{ L s}^{-1}$ . Segundo Von Sperling (1996), o tempo de detenção hidráulica (TDH) proposto para o projeto de lagoas facultativas que tratam esgoto bruto varia entre 15 a 45 dias, porém a boa qualidade do efluente anaeróbio permite que lagoas de polimento sejam eficazes operando a um TDH bastante reduzido (CHERNICHARO, 2001).

Observa-se que a taxa de aplicação superficial média de  $318 \text{ KgO}_2/(\text{ha} \times \text{d})$  está inserida na faixa considerada adequada à operação de lagoas facultativas em regiões com condições climáticas favoráveis, que varia entre 240 e 350  $\text{kgDBO}_5/(\text{ha} \times \text{d})$  (VON SPERLING, 1996b). A taxa de aplicação hidráulica superficial média de  $0,26 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \times \text{d})$  também pode ser considerada típica.

## 5.1.2 Avaliação dos resultados das coletas simples

### 5.1.2.1 Parâmetros microbiológicos

Na Tabela 5-2 encontram-se os resultados do monitoramento bacteriológico do esgoto bruto e dos efluentes do reator anaeróbio compartimentado, da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico, expressos em termos de médias geométricas e correspondentes ao período de irrigação das hortaliças.

Tabela 5-2: Resultado do monitoramento bacteriológico realizado no esgoto bruto e nos efluentes do RAC, da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico.

| Parâmetros                                      | (n=100)           |                    |                   | (n=80)             |
|---|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
|   | E.B               | RAC                | Lagoa             | T.F.Q.             |
| Coliformes totais (NMP $100\text{mL}^{-1}$ )    | $6,0 \times 10^7$ | $1,73 \times 10^7$ | $5,6 \times 10^6$ | $1,14 \times 10^5$ |
| <i>E. coli</i> (NMP $100\text{mL}^{-1}$ )       | $1,8 \times 10^7$ | $6,7 \times 10^6$  | $9,7 \times 10^5$ | $1,02 \times 10^4$ |
| <i>Salmonella sp</i> (NMP $100\text{mL}^{-1}$ ) | 48                | 240                | <3                | <3                 |

Legenda: EB- Esgoto bruto, RAC- Reator anaeróbio compartimentado, LP- Lagoa de polimento e T.F.Q.: Tratamento físico-químico

A lagoa de polimento foi pouco eficiente na remoção de *E. coli*, apresentando concentração média de  $9,7 \times 10^5 \text{ NMP } 100\text{mL}^{-1}$ . Conforme van Haandel & Lettinga (1994), dentre os principais mecanismos associados à remoção de

microrganismos em uma lagoa de tratamento encontram-se a radiação solar, a profundidade e o tempo de detenção hidráulica. Outro fator desfavorável é o elevado número de dispersão ( $d=0,46$ ), que de acordo com Von Sperling (1996b), para obtenção de eficiências superiores a 99,9% (3 logs de remoção) com TDH não excessivos, necessita-se de um número de dispersão inferior a 0,3 ou, preferencialmente, inferior a 0,1, que somente são obtidos em lagoas que possuem uma relação comprimento/largura (L/B) superior a 5,0 situação não observada na lagoa estudada (L/B=2).

Comparando-se os valores médios de *E. coli* entre o efluente da lagoa e o efluente final, observou-se que o sistema de pós-tratamento físico-químico proporcionou uma remoção de *E. coli* da ordem de 88%, equivalente a aproximadamente 1 log. Quanto a *Salmonella sp*, pode-se observar que o RAC funciona como um concentrador desse microrganismo, enquanto que os valores encontrados no efluente da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico estão abaixo do limite de detecção da metodologia utilizada.

No Brasil, a Resolução CONAMA N° 357 de 17 de março de 2005 estabelece os padrões de qualidade da água empregada na irrigação, classificando as águas doces, salobras e salinas em função dos usos preponderantes. De acordo com essa Resolução, a água utilizada na irrigação de hortaliças (consumidas cruas) deve enquadrar-se na classe 2, enquanto que a água empregada na irrigação de culturas como o feijão é classificada como classe 3. Os limites máximos estabelecidos pelo CONAMA são de  $5 \times 10^3$  coliformes totais e  $1 \times 10^3$  coliformes termotolerantes em 100mL de amostra para a classe 2 e de  $2 \times 10^4$  coliformes totais e  $4 \times 10^3$  coliformes termotolerantes em 100mL de amostra para a classe 3.

As concentrações de coliformes totais e *E. coli* observadas nos efluentes empregados na irrigação das hortaliças e de plantas de feijão (Tabela 5-2) encontram-se acima dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA.

Diante da inexistência de normas específicas que regulamentem os critérios de qualidade microbiológica de efluentes tratados para utilização restrita e irrestrita

---

na agricultura, no Brasil e em diversos países, os critérios recomendados pela Organização Mundial de Saúde são adotados como referência. Entretanto, estas normas contemplam apenas o monitoramento de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos e estabelecem os seguintes critérios sobre a qualidade microbiológica de águas residuárias empregadas na agricultura:  $\leq 1$  ovo  $\text{litro}^{-1}$  de nematodas intestinais (helmintos) e  $\leq 10^3$   $100\text{ml}^{-1}$  coliformes termotolerantes em efluentes utilizados na irrigação de culturas ingeridas cruas, como no caso das alfaces.

Dentre os coliformes termotolerantes, normalmente presentes em esgotos sanitários, predomina a *Escherichia coli*, bactéria de origem exclusivamente fecal. Embora os coliformes termotolerantes constem como indicadores de contaminação de hortaliças, *E. coli* é reconhecidamente o indicador mais preciso da qualidade microbiológica destes produtos (HOFSTRA & VELD, 1988). Pelo fato de que a presença de coliformes termotolerantes, na maioria das vezes e principalmente quando em densidades elevadas, guarda uma relação direta com a presença de *E. coli*, seu emprego como indicador de contaminação de águas in natura ainda é aceitável (OMS, 1995).

#### 5.1.2.2 Parâmetros físico-químicos

Na Tabela 5-3 encontram-se os resultados das avaliações físico-químicas do monitoramento do esgoto bruto e dos efluentes do reator anaeróbio compartimentado, da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico de tratamento, expressos em termos de médias aritméticas e desvios padrão.

---

Tabela 5-3: Resultado das análises físico-químicas do monitoramento realizado no esgoto bruto e nos efluentes do RAC, da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico.

| Parâmetros<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | (n=100)   |            |           | (n=80)    |
|-------------------------------------|-----------|------------|-----------|-----------|
|                                     | E.B       | RAC        | Lagoa     | T.F.Q.    |
| SST                                 | 283 ± 181 | 66±33      | 99±39,5   | 14±6      |
| DQOt                                | 531±116   | 242±40     | 212±59    | 62,5±16   |
| DQOf                                | 220±70    | 155±47     | 84±24     | 45±13     |
| DBO <sub>5</sub>                    | 294±116   | 116±25     | 32±165    | 22±11     |
| P <sub>total</sub>                  | 7,3±2     | 5,9±0,8    | 5,4±0,8   | 0,5±0,3   |
| P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup>     | 6,4±1,2   | 5,0±0,8    | 4,1±0,8   | 0,3±0,2   |
| N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>      | 45±8,0    | 39±8,5     | 35±6,3    | 32±6      |
| N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>      | 0,02±0,04 | 0,02±0,02  | 0,02±0,02 | 0         |
| N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>      | 0,21±0,42 | 0,27±0,5   | 0,35±0,5  | 0,3±0,5   |
| NTK                                 | 69±9      | 56±10      | 51±7,6    | 42±7      |
| pH                                  | 7,0±0,2   | 6,8±0,3    | 7,8±0,6   | 5,0±1     |
| Condutividade (mS/cm)               | 748±333   | 800±308    | 789±335   | 1036±325  |
| Turbidez (NTU)                      | 182±89    | 65±25      | 121±59    | 13±6      |
| OD                                  | 0         | 0          | 11,2±6,7  | —         |
| S-SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>     | 49±88,5   | 49,5±23    | 46±18     | 241±236   |
| C-Cl <sup>-</sup>                   | 111±86    | 116,4±83,6 | 136±78    | 125±65    |
| Clorofila "a" (µg /L)               | -         | -          | 780±561   | 125±140   |
| K*                                  | -         | -          | 13 ± 1    | 14 ± 1    |
| Mg*                                 | -         | -          | 7,4 ± 0,5 | 8,7 ± 0,5 |
| Fe*                                 | -         | -          | 0,5 ± 0,1 | 4,4 ± 0,3 |
| Al*                                 | -         | -          | 1,6 ± 0,3 | 9,4 ± 0,5 |
| Ca*                                 | -         | -          | 31 ± 2    | 32 ± 2    |
| Zn*                                 | -         | -          | < 0,1     | < 0,1     |
| Cu*                                 | -         | -          | < 0,06    | < 0,06    |
| Mn*                                 | -         | -          | < 0,1     | < 0,1     |
| Na*                                 | -         | -          | 69±2      | 67±2      |
| RAS* (mmol L <sup>-1</sup> )        | -         | -          | 4,11      | 3,83      |

Legenda: EB- Esgoto bruto, RAC: Reator anaeróbio compartimentado, LP: Lagoa de polimento e T.F.Q.: Tratamento físico-química

\*Análises realizadas somente no efluente da lagoa e do T.F.Q.

A associação RAC + lagoa de polimento foi eficaz na remoção de matéria orgânica do esgoto bruto durante o período avaliado. A eficiência média de remoção de DBO<sub>5</sub>, calculada com base nos resultados obtidos a partir do monitoramento do esgoto bruto afluente (294 mgO<sub>2</sub> L<sup>-1</sup>) e do efluente da lagoa (32 mg L<sup>-1</sup>), foi de 89%. De forma semelhante, verifica-se que houve remoção significativa de DQO<sub>t</sub> e DQO<sub>f</sub>, sendo observadas eficiências médias de remoção de 60% e 62%, respectivamente. As concentrações médias de DBO<sub>5</sub> e DQO<sub>t</sub> do efluente da lagoa de polimento excederam os padrões de lançamento mais restritivos, como os padrões da União Européia, cujos limites

superiores são de  $30 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$  para  $\text{DBO}_5$  e  $90 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$  para  $\text{DQO}_t$ . As elevadas concentrações de matéria orgânica no efluente foram amplamente influenciados pela presença de microalgas, o que pode ser constatado pelos valores de  $\text{DQO}_f$ , que em alguns casos representaram 60% da  $\text{DQO}_t$ .

O sistema de pós-tratamento físico-químico do efluente da lagoa, cujo principal objetivo foi promover a remoção complementar de matéria orgânica do efluente, mostrou-se extremamente eficaz, resultando num efluente com as seguintes características:  $22 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$  ( $\text{DBO}_5$ ),  $62,5 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$  ( $\text{DQO}_t$ ) e  $45 \text{ mgO}_2 \text{ L}^{-1}$  ( $\text{DQO}_f$ ). Valores semelhantes para DQO e sólidos foram encontrados por Gonçalves et al., 2000 quando utilizou o coagulante policloreto, à base de sulfato de alumínio, em uma dose de  $60 \text{ mg L}^{-1}$ . Observa-se que as eficiências de remoção de  $\text{DQO}_f$  são significativamente inferiores às eficiências de remoção de  $\text{DQO}_t$ , o que sugere que a maior parte da  $\text{DQO}_t$  do efluente da lagoa de polimento está relacionada com a elevada concentração de microalgas presentes.

Com relação à remoção de material particulado, os valores médios de SST e turbidez no efluente produzido na lagoa de polimento, foram de  $99 \text{ mg L}^{-1}$  e 121 NTU, respectivamente. Conforme esperado, esse efluente apresentou valores médios de SST e turbidez aproximadamente 40% superiores aos encontrados no afluente, o que está relacionado à presença de microalgas, resultante da disponibilidade de nutrientes inorgânicos e luz. As microalgas, em efluentes de lagoas de tratamento, elevam a concentração de SST, sendo responsável por até 80% do material particulado (MARA & PEARSON, 1998).

A eficiência do sistema de pós-tratamento físico-químico na remoção de microalgas do efluente da lagoa de polimento foi avaliada através da remoção dos seguintes parâmetros indicativos: sólidos em suspensão, turbidez e clorofila "a". Devido à forte presença de microalgas no efluente da lagoa de polimento, a concentração de SST e a turbidez elevaram-se. Ao inserir uma etapa de pós-tratamento físico-químico, o efluente final apresentou concentração média de matéria suspensa de  $14 \text{ mgSST L}^{-1}$  e 13 NTU, abaixo dos padrões mais restritivos como o da Comunidade Européia:  $\text{SST} < 30 \text{ mg L}^{-1}$ .

---

De forma geral, pode-se constatar que o pós-tratamento físico-químico foi bastante eficaz na remoção de microalgas do efluente da lagoa de polimento em termos de clorofila "a", resultando em um efluente final com concentração média de  $125 \mu\text{g L}^{-1}$ , eficiência de remoção de 84% e gerando um efluente final bastante clarificado (Figura 5-1).

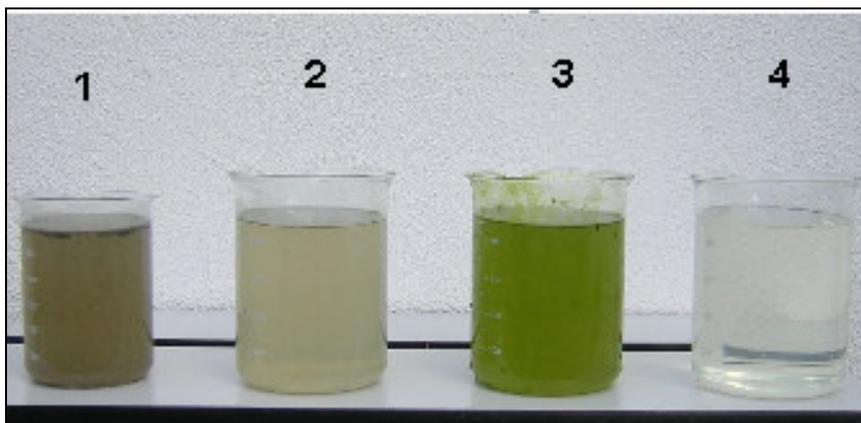


Figura 5-1: Efluentes gerados nas diversas fases do sistema RAC + Lagoa de polimento + Pós-tratamento físico-químico.

Legenda: 1 - Esgoto bruto, 2 - Efluente do RAC, 3 - Efluente da lagoa de polimento e 4 - Efluente do pós-tratamento físico-químico

Com a finalidade de avaliar o desempenho de diversos produtos classificados como coagulantes ou floculantes no pós-tratamento do efluente de lagoas facultativas, em escala laboratorial, Rocha (2000) concluiu que a utilização de coagulantes à base de alumínio produziu um efluente final de melhor qualidade em relação aos coagulantes férricos. Na ocasião, utilizando cloreto de polialumínio, na concentração de  $40 \text{ mg L}^{-1}$ , foram produzidos efluentes com concentração média de clorofila "a" da ordem de  $10 \text{ mg L}^{-1}$ , correspondendo à eficiência de remoção média de 86%.

Pôde-se constatar que a lagoa de polimento foi pouco eficiente na remoção de NTK e amônia, apresentando valores médios de remoção de 26% e 22%, respectivamente. Segundo Von Sperling (1996b), o mecanismo mais importante de remoção de nitrogênio em lagoas facultativas é a volatilização da amônia, e esta só começa a ocorrer a partir de um pH de 8,0, o que nem sempre pôde ser observado nesta lagoa. Ademais, para profundidades

---

superiores a 1,0 m, como é o caso da lagoa estudada, a perda de nitrogênio é geralmente pequena (CAVALCANTI, 2001).

Analogamente ao que ocorreu com relação aos compostos nitrogenados, observou-se que a lagoa de polimento apresentou eficiência pouco significativa quanto à remoção de fósforo total e ortofosfatos, apresentando valores médios de 5% e 19%, respectivamente. De acordo com Cavalcanti (2001), a remoção de fósforo, na forma de seu íon fosfato, só começa a ser significativa quando o pH supera o valor de 9,0, o que foi observado em apenas 8% das determinações. Ademais, o mesmo autor afirma que, para lagoas com profundidade superior a 1,0 m, como é o caso da lagoa estudada, a remoção de fósforo é praticamente inexistente.

Com relação à remoção de nutrientes através do sistema de pós-tratamento físico-químico, reduções satisfatórias nas concentrações de Pt e ortofosfatos foram obtidas levando à produção de um efluente final com concentrações médias iguais a 0,5 e 0,3 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente. No que tange à remoção de compostos nitrogenados, não foram observadas remoções significativas de NTK e amônia. Os resultados de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup> e N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup> não apresentaram valores significativos, sendo comum a baixa concentração desses parâmetros na lagoa.

Os padrões de qualidade das águas estabelecidos pela Resolução CONAMA, para as características avaliadas nos efluentes empregados na irrigação de hortaliças consumidas cruas e de culturas como o feijoeiro, podem ser visualizados na Tabela 5-4.

---

Tabela 5-4: Padrões de qualidade de água estabelecidos pelo CONAMA para as classes 2 e 3.

| Parâmetros                      | Unidades            | Padrões para irrigação |          |
|---------------------------------|---------------------|------------------------|----------|
|                                 |                     | Classe 2               | Classe 3 |
| SST                             | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| DQOt                            | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| DQOf                            | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| DBO <sub>5</sub>                | mg L <sup>-1</sup>  | 5,0                    | 10,0     |
| P <sub>total</sub>              | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| P-PO <sub>4</sub> <sup>-3</sup> | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>  | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | mg L <sup>-1</sup>  | 1,0                    | 1,0      |
| N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>  | mg L <sup>-1</sup>  | 10,0                   | 10,0     |
| NTK                             | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| pH                              | -                   | 6,0-9,0                | 6,0-9,0  |
| Condutividade                   | mS cm <sup>-1</sup> | -                      | -        |
| Turbidez                        | NTU                 | 100,0                  | 100,0    |
| OD                              | mg L <sup>-1</sup>  | ≥5,0                   | ≥4,0     |
| S-SO <sub>2</sub> <sup>-</sup>  | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| Cloreto                         | mg L <sup>-1</sup>  | 250                    | 250      |
| Clorofila "a"                   | µg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| K                               | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| Mg                              | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| Fe                              | mg L <sup>-1</sup>  | 0,3                    | 5,0      |
| Al                              | mg L <sup>-1</sup>  | 0,1                    | 0,1      |
| Ca                              | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |
| Zn                              | mg L <sup>-1</sup>  | 0,18                   | 5,0      |
| Cu                              | mg L <sup>-1</sup>  | 0,02                   | 0,5      |
| Mn                              | mg L <sup>-1</sup>  | 0,1                    | 0,5      |
| Na                              | mg L <sup>-1</sup>  | -                      | -        |

Fonte: Resolução CONAMA 357/05

As concentrações de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, OD, Zn, Cu e Mn detectadas no efluente da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico, assim como os teores de turbidez e cloreto encontrados no T.F.Q. e o valor médio do pH do efluente da lagoa (Tabela 5-3) encontram-se dentro dos padrões estabelecidos pelo CONAMA para águas de classe 2, ou seja, próprias para a irrigação de hortaliças. Já as concentrações de N-NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, OD, Fe, Zn, Cu e Mn detectadas no efluente da lagoa de polimento e do T.F.Q., bem como os valores de turbidez e cloreto analisados no T.F.Q. e do pH do efluente da lagoa encontram-se dentro dos limites para águas de classe 3, consideradas adequadas para a irrigação de culturas como as do feijoeiro. Para as demais características analisadas nos efluentes da lagoa e do pós-tratamento físico-químico, ou encontram-se fora dos padrões estabelecidos pelo CONAMA para irrigação, ou não são citadas nessa Resolução.

As concentrações dos macronutrientes e micronutrientes presentes, tanto no efluente da lagoa de polimento quanto no pós-tratamento físico-químico (Tabela 5-3), apresentam valores muito abaixo dos limites máximos referidos por Furlani et al. (1999) para soluções nutritivas ideais para a cultura da alface, que são de 80mg L<sup>-1</sup> de P; 400mg L<sup>-1</sup> de K; 200 mg L<sup>-1</sup> de Ca; 80mg L<sup>-1</sup> de Mg; 0,3 mg L<sup>-1</sup> de Cu; 0,5 mg L<sup>-1</sup> de Zn; 2,0 mg L<sup>-1</sup> de Mn e 6,0 mg L<sup>-1</sup> de Fe. Isso indica que as correções realizadas na composição desses efluentes, ao nível de macro e micronutrientes, propiciaram o aumento da concentração dos nutrientes essenciais para a alface, bem como proporcionaram o aumento da produtividade.

Com relação à razão de adsorção de sódio, os valores encontrados para o efluente da lagoa de polimento (4,11 mmol L<sup>-1</sup>) e do pós-tratamento físico-químico (3,83 mmol L<sup>-1</sup>), apresentam restrição moderada, quanto ao uso em longo prazo, na irrigação de culturas de alface e de feijão. De acordo com Ayers & Westcot (1985) o grau de restrição ao uso de águas para irrigação é de nenhuma, moderada e severa, quando a RAS for < 3,0; de 3,0 a 9,0 e > 9,0 mmol L<sup>-1</sup>, respectivamente.

### 5.1.3 Avaliação dos resultados das coletas compostas

Os resultados referentes às amostras compostas para as análises de *Giardia sp.*, *Cryptosporidium spp* e ovos de helmintos podem ser observados na Tabela 5-5.

---

Tabela 5-5: Resultado das avaliações microbiológicas do monitoramento realizado no esgoto bruto e nos efluentes do sistema RAC + lagoa de polimento + T.F.Q.

| Parâmetros                                      | (n=100)   |           |         | (n=80) |
|---|-----------|-----------|---------|--------|
|   | E.B       | RAC       | Lagoa   | T.F.Q  |
| <i>Giardia sp</i> (n°cistos L <sup>-1</sup> )   | 1870±1460 | 1380±1310 | 116±101 | 0      |
| <i>Crypto.spp</i> (n°oocistos L <sup>-1</sup> ) | 37,6±3    | 44,5±52,4 | 1,8±6,4 | 0      |
| Ovos de helmintos (ovos L <sup>-1</sup> )       | 0         | 0         | 0       | 0      |

Legenda: EB- Esgoto bruto, RAC: Reator anaeróbio compartimentado, LP: Lagoa de polimento e T.F.Q.: Pós-tratamento físico-químico

Segundo resultados apresentados na Tabela 5-5, foram obtidas remoções significativas de cistos de *Giardia sp* e oocistos de *Cryptosporidium spp*, com eficiência de 95%, pelo sistema RAC + lagoa de polimento. Verificou-se também o acúmulo de cistos e oocistos no reator anaeróbio, devido ao mecanismo físico de remoção desses organismos (sedimentação). No efluente final do tratamento físico-químico não foi observada a presença de cistos de *Giardia sp* e oocistos de *Cryptosporidium spp*. Não foram encontrados ovos viáveis de helmintos em nenhuma etapa de tratamento.

As recomendações da OMS restringem-se à sugestão de padrões bacteriológicos e parasitológicos para irrigação irrestrita, respectivamente, de 10<sup>3</sup> coliformes termotolerantes 100 mL<sup>-1</sup> e 1 ovo de helmintos L<sup>-1</sup>, pressupondo que nos processos de tratamento de esgotos, em geral, bactérias e vírus são inativados pela ação de desinfetantes químicos enquanto cistos e oocistos de protozoários são removidos por filtração ou sedimentação.

De acordo com os critérios da OMS para a qualidade microbiológica de águas residuárias empregadas na agricultura, os efluentes da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico seriam considerados adequados para serem utilizados na irrigação de culturas industriais, como no caso do feijão ( $\leq 1$  ovo litro<sup>-1</sup> de helmintos) e inadequados para a irrigação das alfaces ( $\leq 1$  ovo litro<sup>-1</sup> de helmintos e  $\leq 10^3$  100ml<sup>-1</sup> coliformes termotolerantes).

## 5.2 Estudo piloto com alfaces hidropônicas irrigadas com efluente

O estudo piloto apresentou os seguintes resultados:

1. As plantas coletadas aleatoriamente nas quatro canaletas de cada tratamento não apresentaram diferenças estatísticas significantes entre si com respeito aos parâmetros microbiológicos. As plantas cultivadas nas bordas foram eliminadas.

2. As análises de coliformes totais e *E. coli* nos efluentes armazenados nos reservatórios da casa de vegetação mostraram um decaimento desses microrganismos ao longo da semana. Para que os efluentes mantivessem suas características microbiológicas durante o cultivo, decidiu-se que os reservatórios seriam esvaziados e lavados semanalmente.

3. A grande quantidade de plantas a serem analisadas inviabilizava a coleta de todas as amostras no mesmo dia. Os resultados das análises microbiológicas das plantas coletadas em dias consecutivos foram comparados e observou-se que não houve diferença estatística entre eles.

Esses resultados nortearam o delineamento final dos experimentos hidropônicos realizados nesta pesquisa. Como foi observado que para os fatores data de coleta e canaleta não houve variabilidade, optou-se realizar as coletas das amostras para as análises microbiológicas em dois dias e não separar as amostras por canaletas, e sim pelos quatro tratamentos empregados no cultivo das hortaliças.

---

### 5.3 Cultivo hidropônico de verão

O cultivo hidropônico de verão foi realizado no período de 21 de janeiro a 16 de março de 2005. Durante esse período a região apresentou temperaturas bem elevadas, condições típicas dessa época do ano na cidade de Vitória. Os dados de temperatura são apresentados na Figura 5-2.

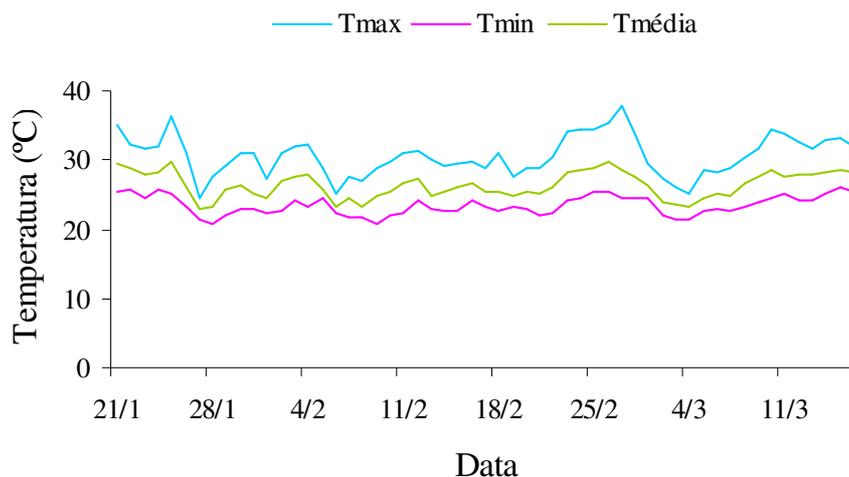


Figura 5-2: Temperaturas máximas, médias e mínimas (°C) diárias do ar durante o plantio de verão, fornecidas pelo Incaper.

Nesta ocasião a região apresentou temperatura máxima, média e mínima em torno de 30,6; 26,4 e 23,4°C. As temperaturas médias diárias registradas na casa de vegetação permaneceram em torno de 29,2°C. As temperaturas ótimas de crescimento da alface encontram-se entre 15°C e 20°C (REISSER JR., 1991). Por ser uma planta de clima ameno, temperaturas médias superiores a 20°C, podem influenciar no pendoamento precoce dessa espécie, comprometendo seu crescimento vegetativo.

#### 5.3.1 Monitoramento das soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação

Durante o experimento foi realizada, semanalmente, a renovação das soluções nutritivas armazenadas nos reservatórios e após a adição dos nutrientes

necessários para cada tratamento o pH era ajustado e a leitura da condutividade elétrica e da temperatura das soluções efetuada. Os resultados do monitoramento das soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação podem ser visualizados na Tabela 5-6.

Tabela 5-6: Valores de pH, temperatura (°C) e condutividade (mS cm<sup>-1</sup>) das soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação.

| Tratamentos                                    | pH   | Temperatura (°C) | Condutividade (mS cm <sup>-1</sup> ) |
|--|------|------------------|--------------------------------------|
| T1 -Solução nutritiva convencional             | 5,55 | 26,5             | 2,66                                 |
| T2 -Efluente do pós-tratamento físico-químico  | 5,55 | 26,1             | 2,34                                 |
| T3- Efluente da lagoa de polimento             | 6,13 | 26,9             | 2,80                                 |
| T4- Efluente da lagoa de polimento diluído 50% | 6,37 | 25,0             | 2,47                                 |

Castellane & Araújo (1995) afirmam que o monitoramento do pH da solução nutritiva proporciona à planta nutrição adequada para seu completo desenvolvimento e que o pH em torno de 6,0 é o ideal para o cultivo de alface. Já Faquin et al. (1996) consideram o pH apropriado da solução para essa cultura entre 5,5, e 6,5 e afirmam que em valores de pH baixos, além dos efeitos tóxicos do cátion H<sup>+</sup> sobre as células das raízes, há competição entre o cátion H<sup>+</sup> e os cátions essenciais (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>+2</sup>, Mg<sup>+2</sup>, Cu<sup>+2</sup>, Fe<sup>+2</sup>, Mn<sup>+2</sup> e Zn<sup>+2</sup>). Enquanto que, em valores de pH elevados, além da redução da absorção dos ânions (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>-2</sup>, Cl<sup>-</sup> e MoO<sub>4</sub><sup>-2</sup>), há a precipitação do Fe<sup>+2</sup>, Mn<sup>+2</sup> e Zn<sup>+2</sup>.

As temperaturas registradas para os 4 tratamentos armazenados nos reservatórios, apesar de elevadas em consequência das temperaturas do ar registradas na região (Figura 5-2), encontram-se dentro do limite máximo de 30°C recomendado para soluções nutritivas por Martinez & Silva Filho (2004).

De acordo com os valores de condutividade elétrica (CE) apresentados na Tabela 5-6, a solução nutritiva convencional e o efluente da lagoa de polimento (T3), que apresentou maior valor de CE, excederam o limite citado por Martinez & Silva Filho (2004). Esses autores citam que a condutividade das soluções

nutritivas utilizadas para alface não deve ultrapassar  $2,5 \text{ mS cm}^{-1}$ , uma vez que pode afetar a absorção de água e nutrientes.

### 5.3.2 Análises microbiológicas da parte aérea das alfaces

As contagens de bactérias em hortaliças são utilizadas como parâmetros da carga microbiana presente, não indicando se a população tem efeito benéfico ou prejudicial. Contudo, servem como um alerta das condições de higiene durante a irrigação, manipulação e armazenamento, como também dos potenciais riscos oferecidos à saúde do consumidor (BRASIL, 1997).

Para “hortaliças frescas, refrigeradas ou congeladas”, a Portaria nº451 de 19 de setembro de 1997 estipula para *Salmonella sp*, a ausência em 25 g e o limite para coliformes termotolerantes de  $2 \times 10^2 \text{ NMP g}^{-1}$  (BRASIL, 1997). Porém, para compatibilizar a legislação nacional com os regulamentos harmonizados no Mercosul, essa portaria foi revogada pela Resolução RDC nº12 de 02 de janeiro de 2001, onde os padrões microbiológicos para hortaliças frescas, *in natura*, preparadas, sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para o consumo direto, passaram a ser para *Salmonella sp*, ausência em 25 g e para coliformes termotolerantes, limite máximo de  $10^2 \text{ NMP g}^{-1}$  (ANVISA, 2001).

Os resultados das análises microbiológicas da parte aérea das alfaces foram negativos para a presença de *Salmonella sp* e a concentração de *E. coli* encontrada em todas as amostras analisadas estão dentro dos padrões estabelecidos pela Secretaria de Vigilância Sanitária.

Os resultados do teste ANOVA para comparar as médias dos tratamentos quanto aos microrganismos coliformes totais e *E. coli* não foram significativos a nível de 5% de probabilidade e apresentaram p-valor igual a 0,439 e 0,067, respectivamente, para as variáveis coliformes totais e *E.coli* (Tabela 5-7).

Tabela 5-7: Análise de variância dos parâmetros coliformes totais e *E. coli* ( $\text{NMP g}^{-1}$ ) na parte aérea das alfaces.

---

| Variável          | Tratamento | n  | Média | Desvio Padrão | F*    | p-valor |
|-------------------|------------|----|-------|---------------|-------|---------|
| Coliformes Totais | 1          | 16 | 8,78  | 9,14          | 0,915 | 0,43896 |
|                   | 2          | 16 | 7,03  | 3,90          |       |         |
|                   | 3          | 16 | 12,40 | 22,63         |       |         |
|                   | 4          | 16 | 22,26 | 51,25         |       |         |
| <i>E. Coli</i>    | 1          | 16 | 0,20  | 0,40          | 2,527 | 0,06664 |
|                   | 2          | 16 | 1,15  | 1,24          |       |         |
|                   | 3          | 12 | 0,58  | 1,00          |       |         |
|                   | 4          | 16 | 0,81  | 1,17          |       |         |

Legenda: T1- Irrigação com solução nutritiva convencional, T2- Irrigação com efluente do tratamento físico-químico, T3- Irrigação com efluente da lagoa de polimento e T4- Irrigação com efluente da lagoa de polimento diluído 50%

\*F: teste de comparação das variâncias

As Figuras 5-3 e 5-4 representam os valores médios (NMP g<sup>-1</sup>) de coliformes totais e *E.coli*, respectivamente, detectados na parte aérea das alfaces cultivadas com os tratamentos propostos: T1- Irrigação com solução nutritiva convencional; T2- Irrigação com efluente do tratamento físico-químico; T3- Irrigação com efluente da lagoa de polimento e T4- Irrigação com efluente da lagoa de polimento diluído 50%.

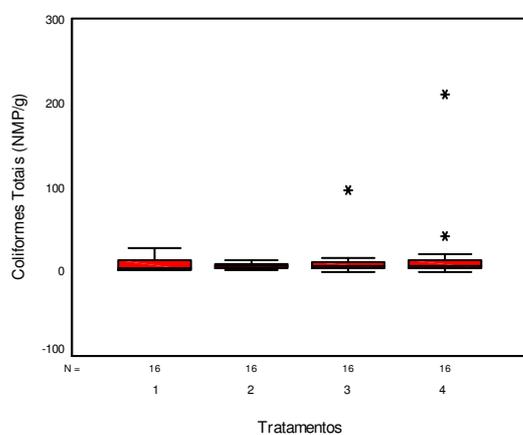


Figura 5-3: Concentração de coliformes totais (NMP g<sup>-1</sup>) na parte aérea das alfaces.

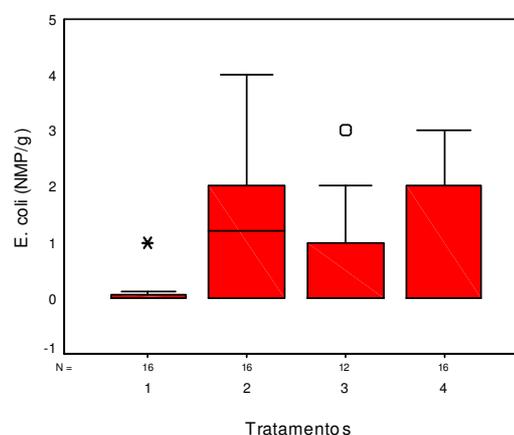


Figura 5-4: Concentração de *E.coli* (NMP g<sup>-1</sup>) na parte aérea das alfaces.

Observa-se nas Figuras 5-3 e 5-4 que existe uma variação dos valores de coliformes totais e *E. coli*, respectivamente, dentro de cada tratamento. Essa variação, no entanto, pode ser explicada, pela metodologia utilizada na análise das plantas. No laboratório, coletou-se uma pequena amostra de cada planta,

com cerca de 25g, retirada de forma aleatória, sendo então submetida às análises microbiológicas. Dessa forma podem ocorrer variações no valor de coliformes totais e *E. coli* até mesmo dentro de cada planta, uma vez que as amostras retiradas das folhas mais externas das plantas apresentam maior probabilidade de contaminação. Isso porque a contaminação por coliformes ocorre apenas por contato e não por absorção desses microrganismos pela planta, de maneira que as folhas internas da alface apresentam pequena probabilidade de estarem contaminadas.

No plano de amostragem das alfaces irrigadas com efluentes sanitários, considerando o conjunto dos resultados como uma média geométrica da contaminação resultante de cada tratamento, nota-se que a irrigação com o efluente da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico resultou em alfaces de qualidade bacteriológica similar à do controle (alfaces irrigadas com água) e plenamente aceitável pelos critérios da legislação brasileira ( $10^2$  NMP  $g^{-1}$  e ausência de *Salmonella sp*).

Bastos (1993) encontrou valores bem mais altos de coliformes termotolerantes em amostras de alfaces irrigadas com esgotos tratados por lagoas de estabilização, entre  $2,3 \times 10^6$  e  $5,8 \times 10^7$  NMP 100 gramas<sup>-1</sup>. Ao que tudo indica, as plantas de alface foram contaminadas por desenvolverem-se muito próximas ao solo. Já as alfaces analisadas por Biscaro (2003), apresentaram concentrações bem menores e na faixa de  $0,3 \times 10^3$  a  $1,5 \times 10^4$  coliformes por 100mL.

A quantidade de coliformes encontrada nas alfaces hidropônicas irrigadas com efluente da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico foi menor do que as encontradas por Biscaro (2003) e variaram de zero a  $4,00 \times 10^1$  NMP grama<sup>-1</sup>. Um dos fatores que pode explicar essa diferença na contaminação das hortaliças pode ser o tipo de irrigação utilizado pelos autores. Bastos (1993) empregou em seus experimentos o sistema de aspersão enquanto que Biscaro (2003) utilizou a irrigação do tipo localizada superficial e subsuperficial. No sistema de aspersão a água ou o efluente são aspergidos sobre a superfície do terreno, assemelhando-se a uma chuva, já no cultivo hidropônico,

---

assim como na irrigação localizada, a água ou o efluente são aplicados diretamente nas proximidades do sistema radicular, o que minimiza a possibilidade de contaminação das folhas das hortaliças, diminuindo os riscos de contaminação destas em índices permitidos pela Legislação.

De acordo com a Tabela 5-2 (pág. 94), pode-se inferir que a irrigação com os efluentes provenientes da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico, que apresentaram níveis microbiológicos acima dos padrões recomendados pela OMS para irrigação irrestrita ( $10^3$  NMP  $100 \text{ mL}^{-1}$  de coliformes termotolerantes), resultando na produção de plantas com qualidade microbiológica aceitável para o consumo, de acordo com a legislação brasileira. Neste sentido, comprova-se a importância de serem adotados métodos seguros, como a hidroponia, para aplicação de efluentes na irrigação de culturas, bem como de serem tomadas medidas de segurança durante a coleta, evitando que tanto as raízes quanto o próprio efluente utilizado na irrigação entrem em contato com a parte aérea (comestível) das alfaces.

### 5.3.3 Avaliações agronômicas

O experimento realizado permitiu a análise da produção de alfaces sob diferentes aspectos. A Tabela 5-8 mostra os resultados do teste ANOVA onde foram comparadas as médias dos tratamentos, para todas as características agronômicas avaliadas. Foram encontradas diferenças significativas para as variáveis massa fresca da parte aérea e da raiz e massa seca da parte aérea e da raiz.

---

Tabela 5-8: Resultados do teste de ANOVA, N, média, desvio padrão, F e valor de p para as características MFPA, MSPA, MFR e MSR.

| Variável          | Tratamento | N  | Média <sup>1/</sup> (g) | Desvio Padrão | F*     | Valor de p |
|-------------------|------------|----|-------------------------|---------------|--------|------------|
| Massa Fresca      | 1          | 16 | 73,56 a                 | 29,15         | 58,461 | 0,00000    |
| Parte Aérea       | 2          | 16 | 83,25 a                 | 27,42         |        |            |
|                   | 3          | 16 | 7,31 b                  | 6,39          |        |            |
|                   | 4          | 16 | 12,44 b                 | 9,66          |        |            |
| Massa Seca        | 1          | 16 | 4,13 a                  | 1,20          | 38,510 | 0,00000    |
| Parte Aérea       | 2          | 16 | 4,81 a                  | 1,83          |        |            |
|                   | 3          | 16 | 1,31 b                  | 0,48          |        |            |
|                   | 4          | 16 | 1,44 b                  | 0,63          |        |            |
| Massa Fresca Raiz | 1          | 16 | 11,75 b                 | 4,07          | 38,040 | 0,00000    |
|                   | 2          | 16 | 19,56 a                 | 6,38          |        |            |
|                   | 3          | 16 | 6,63 c                  | 1,54          |        |            |
|                   | 4          | 16 | 6,69 c                  | 1,70          |        |            |
| Massa Seca Raiz   | 1          | 16 | 1,13 b                  | 0,34          | 24,148 | 0,00000    |
|                   | 2          | 16 | 1,75 a                  | 0,45          |        |            |
|                   | 3          | 16 | 1,00 b                  | 0,00          |        |            |
|                   | 4          | 13 | 1,00 b                  | 0,00          |        |            |

<sup>1/</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, não diferem entre si, para a mesma variável, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade

\*F: teste de comparação das variâncias

Os resultados apresentados na Tabela 5-8 podem ser melhor visualizados nas Figuras 5-5 e 5-6, respectivamente, para a produção de massa fresca e seca da parte aérea e para produção de massa fresca e seca de raiz.

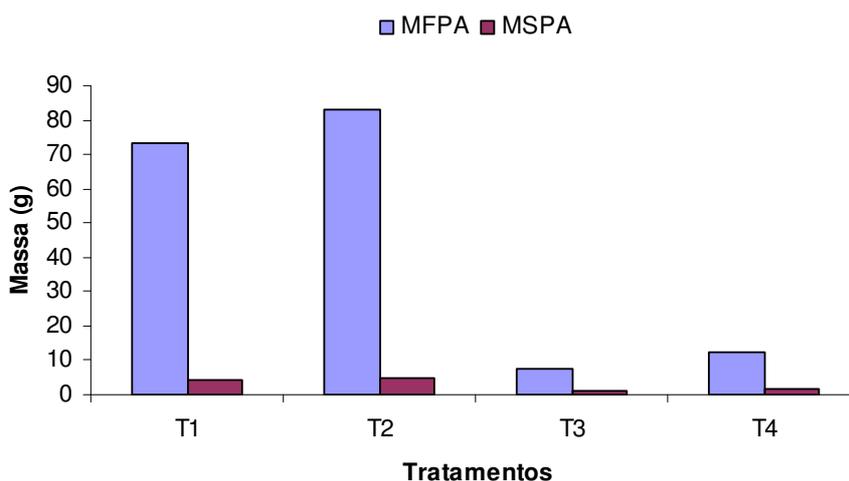


Figura 5-5: Valores médios de massa fresca e massa seca da parte aérea, considerando-se o tipo de tratamento utilizado.

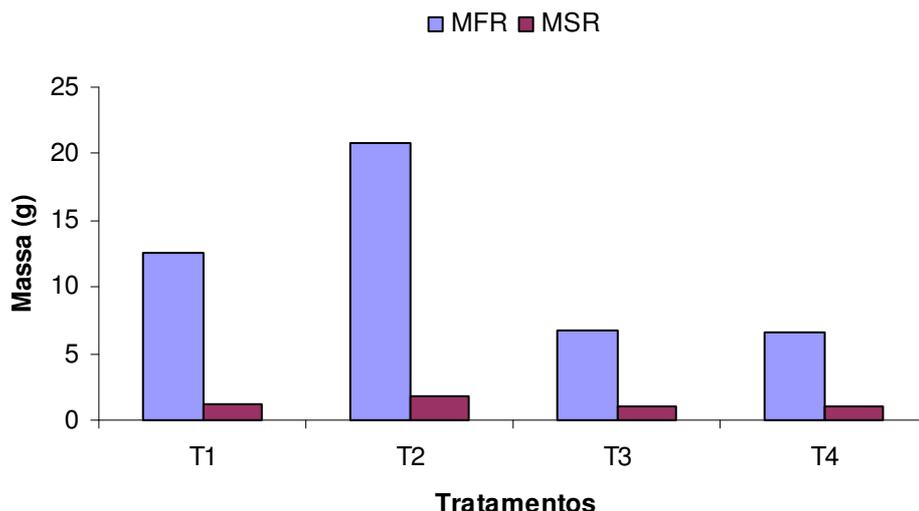


Figura 5-6: Valores médios de massa fresca e massa seca da raiz, considerando-se o tipo de tratamento utilizado.

Os resultados observados na Tabela 5-8 indicam que para massa fresca e seca da parte aérea, os tratamentos T1 e T2 foram os que apresentaram os melhores resultados de produtividade, não diferindo significativamente entre si, mas diferindo dos tratamentos T3 e T4. Vale ressaltar que o tratamento T2 destacou-se, com relação à massa fresca e seca de raiz, apresentando as maiores médias (19,56 e 1,75 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente) dentre os tratamentos; sugerindo que na avaliação dos efluentes utilizados, o efluente do pós-tratamento físico-químico de tratamento seria o mais indicado para se obter uma maior produtividade da cultura da alface.

Os tratamentos T3 e T4 apresentaram o pior desempenho com relação ao desenvolvimento foliar e radicular (Figura 5-7). Isso pode ser comprovado pelo baixo acúmulo de massa fresca da parte aérea (7,31g planta<sup>-1</sup>) e da raiz (6,63 g planta<sup>-1</sup>) expressos na Tabela 5-8. Por ocasião da colheita, as raízes estavam curtas e grossas (sem formação de raízes secundárias) e de coloração escura, depreciando com isso a qualidade do produto.

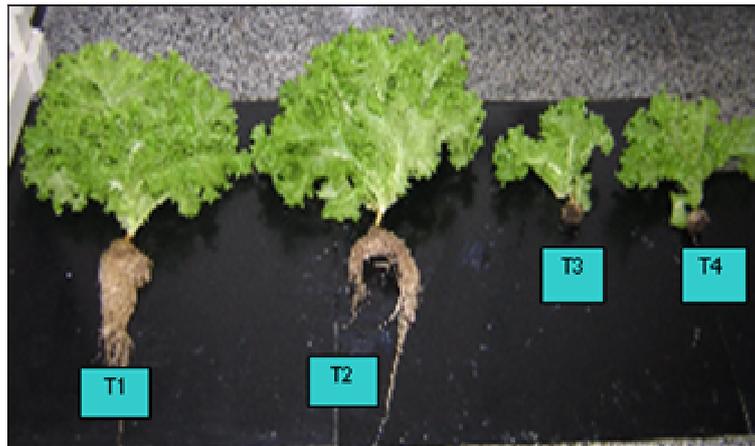


Figura 5-7: Crescimento diferenciado das alfaces cultivadas no verão com os tratamentos T1 (Irrigação com solução nutritiva convencional), T2 (Irrigação com efluente do tratamento físico-químico), T3 (Irrigação com efluente da lagoa de polimento) e T4 (Irrigação com efluente da lagoa de polimento diluído 50%).

Durante o cultivo de verão, a lagoa de polimento apresentou uma grande concentração de microalgas devido à intensa radiação solar e luminosidade características dessa época do ano na região. Segundo Mara et al, 1983 as microalgas em efluentes de lagoas de tratamento, elevam a concentração de sólidos suspensos totais (SST), sendo responsável por até 80% do material particulado. O valor médio de SST na lagoa de polimento durante este período foi elevado e em torno de  $99 \text{ mg L}^{-1}$ . Esses sólidos agregaram-se às raízes das alfaces hidropônicas cultivadas tanto com o efluente da lagoa de polimento não diluído (T3) quanto com o efluente da lagoa diluído 50% (T4), prejudicando sua oxigenação e desencadeando um processo de anaerobiose, o que afetou negativamente o crescimento dessas plantas (Figura 5-8 e Figura 5-9).

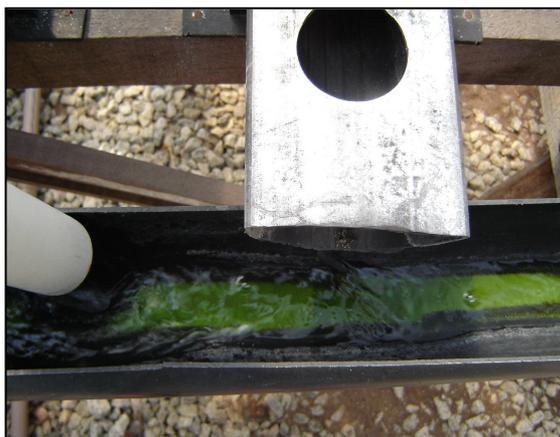


Figura 5-8: Acúmulo de algas do efluente da lagoa de polimento nas canaletas do sistema hidropônico.



Figura 5-9: Algas agregadas às raízes de alface cultivada com efluente da lagoa de polimento.

Analisando-se os valores médios de MFPA e MSPA obtidos no tratamento T2 (83,25 e 4,81 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente), com os valores médios obtidos por Marrocos et al. (2003), 81,69 e 3,41 g planta<sup>-1</sup>, respectivamente, cultivando alface variedade Verdinha de Vitória pelo método hidropônico, observa-se que no T2, onde as alfaces obtiverem melhor produtividade, houve um desempenho semelhante dessas características com as do autor.

#### 5.3.4 Análise de nutrientes na parte aérea das alfaces

Os teores dos macronutrientes N, P, K, Mg, Ca e S e dos micronutrientes Zn, Cu, Mn, Fe, B e Na, bem como o teste ANOVA, onde foram comparadas as médias dos tratamentos, podem ser observados na Tabela 5-9. Foram encontradas diferenças significativas entre os tratamentos a nível de 5% de probabilidade quando se avaliou os macronutrientes P, Mg e Ca e os micronutrientes Zn, Cu, Mn, Fe, B e Na.

Tabela 5-9: Valores médios de macro e micronutrientes, seguidos da análise de variância, detectados na parte aérea das alfaces hidropônicas cultivadas com os 4 tratamentos propostos.

| Macronutrientes<br>(g kg <sup>-1</sup> )  | T1    | T2    | T3    | T4    | F*      | Valor de p |
|---|-------|-------|-------|-------|---------|------------|
| N   | 49 a  | 46 a  | 46 a  | 45 a  | 1,093   | 0,390      |
| P   | 11 a  | 11 a  | 6 b   | 6 b   | 13,953  | 0,000      |
| K   | 76 a  | 91 a  | 81 a  | 83 a  | 1,473   | 0,271      |
| Mg  | 6 a   | 5 a   | 4 b   | 4 b   | 8,636   | 0,003      |
| Ca  | 20 a  | 20 a  | 14 b  | 14 b  | 10,645  | 0,001      |
| S   | 4 a   | 4 a   | 4 a   | 3 a   | 2,926   | 0,077      |
| Micronutrientes<br>(mg Kg <sup>-1</sup> ) |       |       |       |       |         |            |
| Zn  | 115 a | 127 a | 77 b  | 79 b  | 33,017  | 0,000      |
| Cu  | 13 a  | 15 a  | 5 b   | 7 b   | 18,885  | 0,000      |
| Mn  | 335 b | 368 a | 130 d | 183 c | 157,753 | 0,000      |
| Fe  | 478 a | 368 a | 200 b | 175 b | 14,829  | 0,000      |
| B   | 86 a  | 95 a  | 102 a | 54 b  | 6,683   | 0,007      |
| Na  | 5 c   | 45 a  | 32 b  | 15 c  | 23,934  | 0,000      |

Legenda: T1-Irrigação com solução nutritiva convencional, T2- Irrigação com efluente do tratamento físico-químico, T3- Irrigação com efluente da lagoa de polimento e T4- Irrigação com efluente da lagoa de polimento diluído 50%

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan

\*F: teste de comparação das variâncias

Os teores de N, K e S detectados na parte aérea das alfaces foram semelhantes para todos os tratamentos. Com relação à concentração de P, Mg e Ca, as plantas cultivadas com os tratamentos T1 e T2, apresentaram maior aproveitamento desses nutrientes em relação àquelas cultivadas com os tratamentos T3 e T4, provavelmente devido a grande quantidade de sólidos e algas agregados às raízes das plantas cultivadas com esses tratamentos, o que dificultou a absorção desses nutrientes. Com relação aos níveis de Zn, Cu e Fe as alfaces cultivadas com os tratamentos T1 e T2 foram os que obtiveram maiores concentrações desses elementos. Quanto ao micronutriente Mn, o tratamento T2 foi o que se destacou quanto a sua absorção, enquanto que para o B os tratamentos T1, T2 e T3 não apresentaram diferenças significativas entre si e foram superiores ao tratamento T4. O tratamento T1 (solução nutritiva convencional) apresentou menor valor de Na nas amostras.

Comparando-se os valores de macronutrientes relacionados na Tabela 5-20 com os teores referenciados por Barta (1992), 21 a 56 g kg<sup>-1</sup> de N total no

tecido, para alfaces cultivadas com soluções nutritivas convencionais, as alfaces irrigadas pelas soluções nutritivas dos tratamentos propostos podem ser consideradas saudáveis. Os teores de P, Ca, e S encontrados por Hidalgo et al. (2005) para alface hidropônica (cultivar Vera) foram semelhantes aos deste cultivo: 7,53; 16,75 e 3,09 g kg<sup>-1</sup>, respectivamente. O potássio é reconhecidamente um nutriente que se caracteriza por ser absorvido em quantidade superior ao ótimo para a produção de massa seca. A quantidade de K acumulada na parte aérea das alfaces cultivadas com todos os tratamentos encontra-se dentro dos níveis ótimos, que segundo Roorda van Eysinga & Smilde (1981), situam-se entre 39 e 98 g kg<sup>-1</sup>, ou seja, uma larga faixa. Garcia et al. (1988a), também encontrou na parte aérea de alfaces hidropônicas, níveis de Mg próximos aos detectados neste experimento e em torno 3,5 a 5,0 g kg<sup>-1</sup> de massa seca.

Com relação aos níveis de micronutrientes detectados na parte aérea das alfaces (Tabela 5-9), o teor do elemento Cu observado na parte aérea das alfaces, 52 dias após o plantio, situa-se dentro dos limites referenciados por Trani & Raij (1997), que definem os teores de Cu, Fe, Mn e Zn entre: 7-20; 50-150; 30-150; e 30-100 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente, como adequados para folhas de alface recém-desenvolvidas, coletadas na metade do ciclo. As concentrações de Fe, para todos os tratamentos; de Mn, para os tratamentos T1, T2 e T4 e de Zn para os tratamentos T1 e T2, foram superiores aos limites apresentados por Trani & Raij (1997).

As quantidades médias de B acumuladas na parte aérea das alfaces para todos os tratamentos, 54 a 102 mg Kg<sup>-1</sup>, foram superiores aos esperados para alface, de acordo com vários autores cujos teores relatados variaram de 24 a 37 mg Kg<sup>-1</sup> (NAKAGAWA,1992). Apesar das concentrações médias dos micronutrientes B, Fe, Mn e Zn encontrarem-se acima dos valores referenciados na literatura, não se observou nenhum efeito fitotóxico visível nas plantas.

---

## 5.4 Cultivo hidropônico de inverno

O cultivo hidropônico de inverno foi realizado no período de 03 de junho a 02 de agosto de 2005. Durante esse período a região apresentou temperaturas mais amenas e propícias para o desenvolvimento das alfaces do que as registradas durante o cultivo de verão. Os dados fornecidos são apresentados na Figura 5-10.

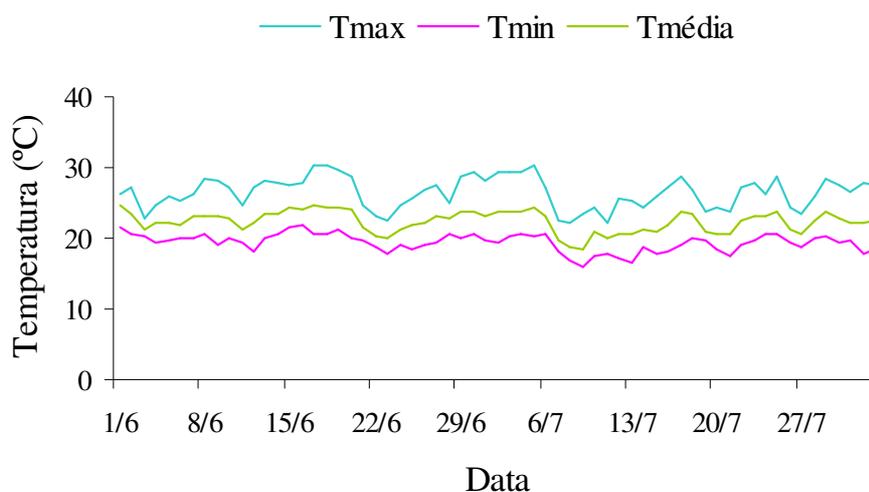


Figura 5-10: Temperaturas máximas, médias e mínimas (°C) diárias do ar durante o plantio de inverno, fornecidas pelo Incaper.

Entre 03 de junho a 02 de agosto, a cidade de Vitória apresentou temperaturas máxima, média e mínima em torno de 26,5; 22,4 e 19,4°C, respectivamente. Enquanto que a temperatura média diária de casa de vegetação permaneceu em torno de 25,3 °C.

### 5.4.1 Monitoramento das soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação

Os resultados das análises de pH, condutividade elétrica e da temperatura realizadas semanalmente nas soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação são apresentados na Tabela 5-10.

Tabela 5-10: Valores de pH, temperatura e condutividade das soluções armazenadas nos reservatórios da casa de vegetação.

| Tratamentos                                    | pH  | Temperatura (°C) | Condutividade (mS cm <sup>-1</sup> ) |
|--|-----|------------------|--------------------------------------|
| T1 -Solução nutritiva convencional             | 5,7 | 24,3             | 2,15                                 |
| T2 -Efluente do pós-tratamento físico-químico  | 5,9 | 23,9             | 2,38                                 |
| T3- Efluente da lagoa de polimento             | 6,4 | 23,8             | 2,17                                 |
| T4- Efluente da lagoa de polimento diluído 50% | 6,6 | 23,5             | 2,26                                 |

Os tratamentos T1, T2, T3 e T4 mantiveram o pH, as temperaturas e as condutividades elétricas próximos aos considerados ideais para o cultivo de alface. Jones Jr (1982) afirma que o pH da solução é menos crítico nas soluções recirculantes, desde que permaneça entre 5,0 e 7,0, como no caso do presente experimento. Faquin et al. (1996), sugere que a condutividade elétrica de soluções nutritivas para hortaliças permaneça entre 2,0 e 2,5 mS cm<sup>-1</sup>, enquanto que as temperaturas dessas soluções não devem ultrapassar 30°C (MARTINEZ & SILVA Filho, 2004).

#### 5.4.2 Análises microbiológicas da parte aérea das alfaces

A análise estatística dos resultados de coliformes totais detectados na parte aérea das alfaces mostrou p-valor igual a 0,379 enquanto que na análise de *E.coli* o p-valor foi igual a 0,480, comprovando que não houve diferença significativa dessas variáveis entre os tratamentos T1 (solução nutritiva convencional), T2 (efluente do pós-tratamento físico-químico), T3 (efluente da lagoa de polimento) e T4 (efluente da lagoa de polimento diluído 50%). Na Tabela 5-11 pode ser visualizado o teste F (ANOVA) para comparar as médias das variáveis.

Tabela 5-11: Valores médios e o teste F de ANOVA dos parâmetros coliformes totais e *E. coli* segundo os 4 tratamentos utilizados na irrigação das plantas.

| Variável          | Tratamento | N  | Média | Desvio Padrão | F*   | p-valor  |
|-------------------|------------|----|-------|---------------|------|----------|
| Coliformes Totais | 1          | 16 | 9,21  | 15,62         | 1,05 | 0,379010 |
|                   | 2          | 15 | 12,24 | 11,05         |      |          |
|                   | 3          | 16 | 23,17 | 28,61         |      |          |
|                   | 4          | 16 | 34,24 | 67,89         |      |          |
| <i>E. coli</i>    | 1          | 16 | 2,73  | 2,77          | 0,83 | 0,480328 |
|                   | 2          | 16 | 4,70  | 8,26          |      |          |
|                   | 3          | 16 | 2,28  | 1,65          |      |          |
|                   | 4          | 16 | 3,79  | 3,44          |      |          |

T1- Plantas irrigadas com solução nutritiva convencional; T2- Plantas irrigadas com efluente do pós-tratamento físico-químico; T3- Plantas irrigadas com efluente da lagoa de polimento e T4- Plantas irrigadas com efluente da lagoa de polimento diluído 50%

\*F: teste de comparação das variâncias

Os resultados do teste ANOVA para comparar as médias dos tratamentos quanto aos microrganismos coliformes totais e *E. coli* não foram significativos a nível de 5% de probabilidade, inferindo-se que os tratamentos T2, T3 e T4 resultaram em alfaces de qualidade bacteriológica similar à do controle (alfaces irrigadas com água), não influenciando assim, na contaminação dessas hortaliças.

As Figuras 5-11 e 5-12 representam os valores médios (NMP g<sup>-1</sup>) de coliformes totais e *E. coli*, respectivamente, da parte aérea das alfaces cultivadas com os tratamentos propostos.

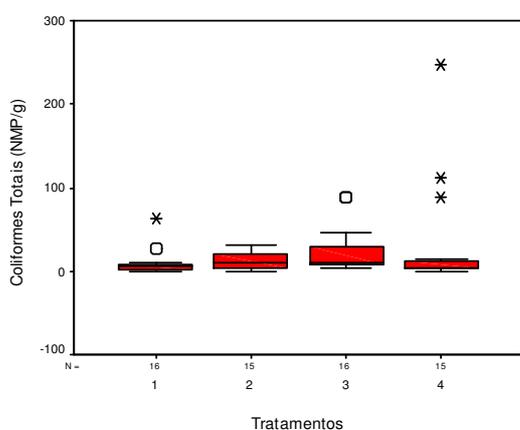


Figura 5-11: Concentração de coliformes totais (NMP g<sup>-1</sup>) na parte aérea das alfaces.

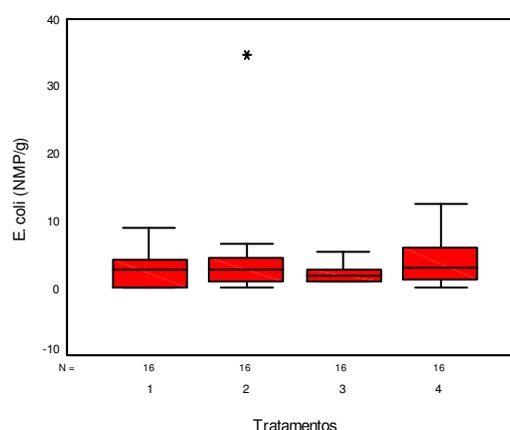


Figura 5-12: Concentração de *E. coli* (NMP g<sup>-1</sup>) na parte aérea das alfaces.

A quantidade de *E. coli* encontrada na parte aérea das alfaces analisadas neste cultivo variou de zero a  $3,47 \times 10^1$  NMP grama<sup>-1</sup>, indicando que todas as amostras são aceitáveis pelos critérios da legislação brasileira. Esses resultados foram ainda mais satisfatórios do que os apresentados por Bastos & Mara (1993), que avaliaram a qualidade microbiológica de alfaces e rabanetes irrigados com efluentes de lagoas de estabilização, os quais apresentaram  $1,7$  a  $5,0 \times 10^3$  *E. coli* por grama.

### 5.4.3 Avaliações agrônômicas

A Tabela 5-12 apresenta os valores médios das variáveis massa fresca da parte aérea e da raiz e massa seca da parte aérea e da raiz. Através da realização do teste F (ANOVA) para comparar as médias das variáveis, segundo os 4 tratamentos utilizados na irrigação das plantas, foram encontradas diferenças significativas ao nível de 5% de probabilidade para todas as características analisadas.

Tabela 5-12: Resultados do teste de ANOVA, N, média, desvio padrão, F e valor de p para as características MFPA, MSPA, MFR e MSR.

| Variável                          | Tratamento | N  | Média <sup>1/</sup><br>(g) | Desvio<br>Padrão | F*    | Valor de<br>p |
|-----------------------------------|------------|----|----------------------------|------------------|-------|---------------|
| Massa<br>Fresca<br>Parte<br>Aérea | 1          | 16 | 121,88 ab                  | 27,82            | 41,14 | 0,000000      |
|                                   | 2          | 16 | 129,56 a                   | 37,72            |       |               |
|                                   | 3          | 16 | 31,50 c                    | 9,44             |       |               |
|                                   | 4          | 16 | 108,25 b                   | 29,56            |       |               |
| Massa<br>Seca Parte<br>Aérea      | 1          | 15 | 4,82 a                     | 1,05             | 13,54 | 0,000002      |
|                                   | 2          | 11 | 5,18 a                     | 2,29             |       |               |
|                                   | 3          | 12 | 1,68 b                     | 0,55             |       |               |
|                                   | 4          | 12 | 4,23 a                     | 1,70             |       |               |
| Massa<br>Fresca<br>Raiz           | 1          | 16 | 17,71 b                    | 3,29             | 30,22 | 0,000000      |
|                                   | 2          | 16 | 28,94 a                    | 9,64             |       |               |
|                                   | 3          | 16 | 9,88 c                     | 1,33             |       |               |
|                                   | 4          | 16 | 16,46 b                    | 5,21             |       |               |
| Massa<br>Seca<br>Raiz             | 1          | 16 | 0,70 b                     | 0,13             | 37,14 | 0,000000      |
|                                   | 2          | 16 | 1,44 a                     | 0,52             |       |               |
|                                   | 3          | 16 | 0,46 c                     | 0,08             |       |               |
|                                   | 4          | 16 | 0,62 bc                    | 0,19             |       |               |

<sup>1/</sup> Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas, não diferem entre si, para a mesma variável, pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade

\*F: teste de comparação das variâncias

Os resultados apresentados na Tabela 5-12 podem ser melhor visualizados nas Figuras 5-13 e 5-14, respectivamente, quando se avaliou massa fresca e seca da parte aérea e da raiz.

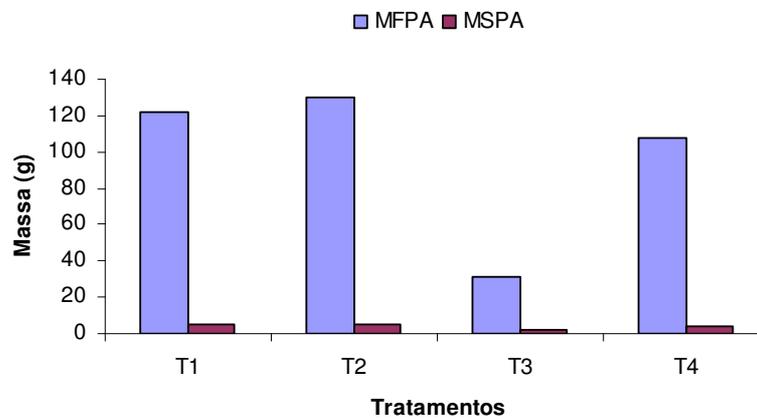


Figura 5-13: Valores médios de massa fresca e seca da parte aérea, considerando-se o tipo de tratamento utilizado.

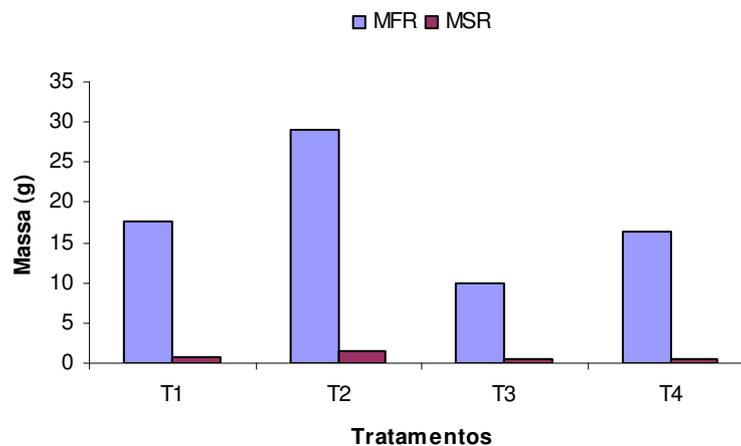


Figura 5-14: Valores médios da massa fresca e seca da raiz, considerando-se o tipo de tratamento utilizado.

Com relação à massa fresca e seca da parte aérea o tratamento T1 foi semelhante a T2 e T4, enquanto que T3 apresentou MFPA e MSPA reduzidas, devido à elevada quantidade de matéria orgânica presente nesse efluente (Figura 5-15). Na análise de massa fresca e seca da raiz, T2 apresentou um crescimento diferencial em relação a T1, T3 e T4. Pode-se afirmar, portanto, que os tratamentos constituídos com o efluente do tratamento físico-químico (T2) e com o efluente da lagoa de polimento diluído 50% (T4), sob as

condições do experimento, poderiam substituir a solução nutritiva convencional (T1), suprimindo a quantidade de água necessária para esse tipo de cultivo e proporcionando uma produção semelhante à obtida nos métodos convencionais.



Figura 5-15: Crescimento diferenciado das alfaces cultivadas no de inverno com os tratamentos T1 (Irrigação com solução nutritiva convencional), T2 (Irrigação com efluente do tratamento físico-químico), T3 (Irrigação com efluente da lagoa de polimento) e T4 (Irrigação com efluente da lagoa de polimento diluído 50%).

Neste experimento, realizado em épocas com temperaturas mais amenas e menor incidência luminosa, a quantidade de algas registradas na lagoa de polimento foi 1 unidade log (CRUZ, 2005) inferior à concentração obtida no período de verão, não influenciando no crescimento das alfaces fertirrigadas com efluente da lagoa de polimento diluído 50% (T4).

#### 5.4.4 Análise de nutrientes na parte aérea das alfaces

Os teores dos macronutrientes N, P, K, Mg, Ca e S e dos micronutrientes Zn, Cu, Mn, Fe, B e Na e o teste ANOVA, onde foram comparadas as médias dos tratamentos, podem ser observados na Tabela 5-13. Foram encontradas diferenças significativas para os macronutrientes P, K, Mg e Ca e para os micronutrientes Cu, Zn, Mn e Na.

Tabela 5-13: Teores de nutrientes, seguidos da análise de variância, detectados na parte aérea das alfaces hidropônicas cultivadas com os 4 tratamentos propostos.

| Macronutrientes<br>(g kg <sup>-1</sup> )  | T1   | T2   | T3   | T4   | F*     | p-valor |
|---|------|------|------|------|--------|---------|
| N   | 47a  | 49a  | 46a  | 51a  | 0,958  | 0,444   |
| P   | 9a   | 8ab  | 7b   | 8ab  | 3,477  | 0,051   |
| K   | 98a  | 70b  | 74b  | 89ab | 3,496  | 0,050   |
| Mg  | 4a   | 4a   | 3b   | 3b   | 18,466 | 0,000   |
| Ca  | 15a  | 12b  | 15a  | 16a  | 10,187 | 0,001   |
| S   | 3a   | 3a   | 4a   | 3a   | 0,943  | 0,450   |
| Micronutrientes<br>(mg Kg <sup>-1</sup> ) |      |      |      |      |        |         |
| Zn  | 89b  | 90b  | 77c  | 108a | 33,752 | 0,000   |
| Cu  | 12a  | 10a  | 6b   | 6b   | 14,704 | 0,000   |
| Mn  | 250a | 235a | 148c | 185b | 32,389 | 0,000   |
| Fe  | 230a | 210a | 185a | 175a | 1,827  | 0,196   |
| B   | 53a  | 43a  | 40a  | 51a  | 1,427  | 0,283   |
| Na  | 2c   | 29a  | 26a  | 19b  | 41,521 | 0,000   |

Legenda: T1- Irrigação com solução nutritiva convencional, T2- Irrigação com efluente do tratamento físico-químico, T3- Irrigação com efluente da lagoa de polimento e T4- Irrigação com efluente da lagoa de polimento diluído 50%

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Duncan

\*F: teste de comparação das variâncias

Os teores de N, S, Fe e B encontradas nas amostras foram semelhantes para todos os tratamentos. Com relação à concentração de P e K, o tratamento T1, que não diferiu estatisticamente de T2 e T4 para o macronutriente P e de T4 para o K, obteve desempenho superior com relação ao tratamento T3. A quantidade média de Mg nas folhas foi superior para os tratamentos T1 e T2, não deferindo estatisticamente entre si, mas diferindo de T3 e T4. Para o Ca, os tratamentos T3 e T4 foram semelhantes a T1; T2 foi o tratamento que alcançou menor concentração desse macronutriente. Com relação aos níveis de Cu e Mn, os tratamentos T1 e T2 foram os que obtiveram maiores concentrações desses elementos, enquanto que para o micronutriente Zn, o tratamento T4 foi superior aos demais. O tratamento T1 apresentou menor valor de Na nas amostras, como foi observado nos experimentos conduzidos no verão.

Os resultados demonstrados na Tabela 5-13 para os macronutrientes N, P, Ca e S, independente do tratamento utilizado, foram semelhantes aos obtidos por Fernandes et al. (1971) e Hidalgo et al. (2003) que encontraram, respectivamente, teores de 46; 7,53; 16,75 e 3,09 g kg<sup>-1</sup> do peso seco da parte aérea de alface hidropônica. O teor de K, para todos os tratamentos, permaneceu dentro dos níveis ideais, que segundo Roorda van Eysinga & Smilde (1981) está entre 39 e 98 g kg<sup>-1</sup>. A concentração de Mg também manteve-se próxima às concentrações encontrados na literatura, que variam de 2,0 a 4,8 g kg<sup>-1</sup> (ALVARENGA et al. 2000).

Com relação aos níveis de micronutrientes detectados na parte aérea das alfaces (Tabela 5-13), os teores do elemento Cu observados nos tratamentos T1 e T2 podem ser consideradas adequados por Roorda Van Eysinga & Smilde (1981), os quais apresentaram teores de 7 a 17 mg Kg<sup>-1</sup> para plantas de alface sadias. A concentração de Zn mostra que os valores encontrados na parte aérea das alfaces nesta pesquisa, ficaram dentro da média para essa espécie (37, 5 a 116 mg Kg<sup>-1</sup>) segundo Nakagawa et al. (1992).

Os acúmulos de B e de Fe, em todos os tratamentos, foram superiores, respectivamente, aos limites apresentados por Nakagawa et al. (1992), que variaram de 24 a 37 mg Kg<sup>-1</sup> e por Trani & Rajj (1997), que considera como adequados para folhas de alface recém-desenvolvidas, teores de ferro entre 50-150 mg kg<sup>-1</sup>. De forma análoga, as concentrações de Mn, nos tratamentos T1 e T2 foram superiores aos relatados por Ricci et al. (1994), que determinaram teores entre 68,53 e 188,5 mg Kg<sup>-1</sup>, sob diversas condições experimentais, incluindo cultivares e adubações.

Gupta & Gupta (1998) relatam como fitotóxicos, para a maioria das plantas, Mn e Zn, entre 400-7000 e 95-340 mg kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Apesar de alguns micronutrientes terem sido encontrados em valores superiores aos referenciados na literatura, as plantas não apresentaram sintomas visuais de fitotoxicidade.

Comparando-se os dois experimentos realizados em diferentes épocas do ano, pode-se afirmar que as alfaces cultivadas no inverno foram as que mais se

---

destacaram com relação à produção de massa fresca da parte aérea e da raiz considerando-se todos os tratamentos (Tabela 5-12), provavelmente em razão das temperaturas mais amenas para o plantio da alface nesse período. Salatiel (2001), avaliando o comportamento de algumas cultivares de alface durante as quatro estações do ano, encontrou no cultivo de verão, valor médio de MFPA 58,3% menor que o valor encontrado para essa característica no inverno.

Além do estresse térmico sofrido pelas alfaces no período de verão, a diferença de crescimento entre as plantas cultivadas com o efluente da lagoa de polimento nesse período com as cultivadas no inverno, também pode ser justificada pela maior densidade algal verificada na lagoa de polimento no verão, quando há maior intensidade da radiação solar e predominância de dias mais longos. Essas algas podem ter afetado o crescimento radicular e foliar das alfaces cultivadas com os tratamentos T3 e T4 no cultivo de verão; e com o tratamento T3, no cultivo de inverno, uma vez que se agregaram às raízes das plantas, prejudicando sua oxigenação e desencadeando um processo de anaerobiose, bem como competindo por nutrientes essenciais (P) ou liberando toxinas prejudiciais às plantas.

Com relação aos teores de nutrientes determinados na massa seca das folhas de alface de ambos os experimentos, os macronutrientes podem ser considerados como adequados na análise foliar das hortaliças, enquanto que as concentrações de alguns micronutrientes superaram os teores considerados ideais para essas hortaliças.

## 5.5 Análises das microalgas e dos SST agregados às raízes das alfaces

Os resultados das duas coletas em que foram realizadas contagens de microalgas e análises de sólidos suspensos totais nas raízes das alfaces irrigadas com a solução nutritiva convencional (T1) e com os efluentes da lagoa

---

de polimento não diluído (T3) e diluído 50% (T4) podem ser visualizados nas Tabelas 5-14 e 5-15, respectivamente.

Tabela 5-14: Resultado da contagem de microalgas agregadas às raízes das alfaces cultivadas com a solução convencional e com os efluentes da lagoa diluído 50% e 100%.

| Tratamentos                 | Contagem de microalgas (indivíduos/mL) |                     |
|-----------------------------|--|---------------------|
|                             | Coleta dia 31/01/2006                  | Coleta dia 14/02/06 |
| Solução Convencional (T1)   | $4,87 \times 10^4$                     | $7,25 \times 10^4$  |
| Efluente da Lagoa 50% (T4)  | $1,81 \times 10^6$                     | $4,50 \times 10^6$  |
| Efluente da Lagoa 100% (T3) | $5,57 \times 10^6$                     | $7,50 \times 10^6$  |

Tabela 5-15: Resultado de SST agregados às raízes das alfaces cultivadas com a solução convencional e com os efluentes da lagoa diluído 50% e 100%.

| Tratamentos                 | SST ( $\text{mg L}^{-1}$ ) |                     |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------|
|                             | Coleta dia 31/01/2006      | Coleta dia 14/02/06 |
| Solução Convencional (T1)   | 80                         | 120                 |
| Efluente da Lagoa 50% (T4)  | 110                        | 240                 |
| Efluente da Lagoa 100% (T3) | 360                        | 560                 |

Através das contagens de algas e das análises de SST, aderidos às raízes das alfaces, pôde-se comprovar que as microalgas e os sólidos presentes nas soluções nutritivas utilizadas no experimento se acumularam progressivamente nas raízes das plantas. Os resultados das Tabelas 5-14 e 5-15 demonstram que o acúmulo de algas e sólidos nas raízes foi maior na segunda coleta (15 dias após a primeira), sugerindo que quanto maior o tempo de exposição das raízes às soluções nutritivas maior a quantidade de microalgas e sólidos suspensos totais acumulados nas raízes.

Com relação ao resultado qualitativo das algas agregadas às raízes das hortaliças, observou-se o predomínio da classe Cyanophyceae seguido da Chlorophyceae. O excesso de fósforo favorece a proliferação de algas cianofíceas que podem ser tóxicas para o homem. Em estudos de controle de algas cianofíceas de sistemas eutrofizados, Rhee & Gotham (1981) verificaram

que a entrada de nitrogênio no ambiente pode aumentar a quantidade de algas clorofíceas.

## 5.6 Cultivo de plantas de feijão fertirrigadas com efluente de lagoa de polimento

Durante os 35 dias de experimento as temperaturas máxima, média e mínima medidas na casa de vegetação permaneceram em torno de 31, 26 e 20°C, respectivamente. De acordo com Vieira (1967) as temperaturas médias ótimas durante o ciclo cultural do feijoeiro são de 18 a 24°C, sendo 21°C a ideal. A ocorrência de temperaturas acima da faixa ótima, como no caso das registradas durante o experimento, pode ocasionar prejuízos ao crescimento e desenvolvimento das plantas de feijão.

### 5.6.1 Caracterização do solo utilizado no experimento

Os resultados das análises realizadas na amostra de solo coletada antes da implantação do experimento são apresentados na Tabela 5-16. Comparando-se os resultados das características analisadas no solo utilizado neste experimento com os valores adotados por Alvarez Viegas et al. (1999) foram considerados baixos: pH, P, Ca, Zn, Fe, Mn, B, CTC (t) e CTC (T); muito baixos: Al, Cu, índice de saturação de alumínio e Mo, e médios: K, Mg e índice de saturação de bases. Esses valores indicam que o solo utilizado possui baixos teores de nutrientes, sendo apropriado para o experimento por não influenciar no fornecimento de macro e micronutrientes pelos tratamentos propostos.

---

Tabela 5-16: Resultados dos caracteres analisados no solo utilizado no experimento.

| Análises | Resultados                 | Análises | Resultados                 |
|----------|----------------------------|----------|----------------------------|
| pH       | 5,2                        | B        | 0,26 mg/dm <sup>3</sup>    |
| P        | 6,2 mg/dm <sup>3</sup>     | Cu       | 0,20 mg/dm <sup>3</sup>    |
| K        | 69,0 mg/dm <sup>3</sup>    | H+Al     | 2,08 cmolc/dm <sup>3</sup> |
| Na       | 17,0 mg/dm <sup>3</sup>    | SB       | 1,75 cmolc/dm <sup>3</sup> |
| Ca       | 0,89 cmolc/dm <sup>3</sup> | CTC (t)  | 1,85 cmolc/dm <sup>3</sup> |
| Mg       | 0,61 cmolc/dm <sup>3</sup> | CTC (T)  | 3,83 cmolc/dm <sup>3</sup> |
| Al       | 0,10 cmolc/dm <sup>3</sup> | MO       | 0,18 dag/kg                |
| Zn       | 0,84 mg/dm <sup>3</sup>    | V        | 45,7 %                     |
| Fe       | 12,9 mg/dm <sup>3</sup>    | m        | 5,41 %                     |
| Mn       | 2,57 mg/dm <sup>3</sup>    | ISNa     | 4,00 %                     |

Legenda: H+Al = Acidez potencial, SB= Soma de bases trocáveis, CTC(t)= Capacidade de troca catiônica efetiva, CTC(T)= Capacidade de troca catiônica a pH 7,0, V= Índice de saturação de bases, m= Índice de saturação de alumínio, ISNa= Índice de saturação de sódio e MO= Matéria orgânica

### 5.6.2 Avaliações agronômicas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância. Para os caracteres cuja análise indicou diferença estatística significativa entre os tratamentos, foi realizado o teste de comparação de médias de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A análise de variância, a média geral e o coeficiente de variação da massa fresca e seca da parte aérea e massa fresca e seca da raiz encontram-se na Tabela 5-17. Os quadrados médios demonstram que não existem diferenças significativas, entre as médias, para as diversas características agronômicas avaliadas pelo teste F.

Tabela 5-17: Resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios e graus de liberdade (GL), seguida das estimativas dos coeficientes de variação (CV) e das médias, para diferentes características agrônômicas dos feijoeiros.

| Fonte de Variação | GL | Quadrado médio       |                      |                      |                      |                      |
|-------------------|----|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                   |    | MFPA                 | MFR                  | MSPA                 | MSR                  | Altura               |
| Blocos            | 3  | 9,2819               | 1,4099               | 0,2342               | 0,0389               | 21,3772              |
| Tratamentos       | 4  | 0,7642 <sup>ns</sup> | 0,0650 <sup>ns</sup> | 0,0131 <sup>ns</sup> | 0,0543 <sup>ns</sup> | 1,4405 <sup>ns</sup> |
| Resíduo           | 12 | 1,8531               | 1,0751               | 0,0406               | 0,1018               | 3,3326               |
| CV (%)            | -  | 12,63                | 36,93                | 10,62                | 18,40                | 9,84                 |
| Média             | -  | 10,77g               | 2,81g                | 1,90g                | 1,73g                | 18,55cm              |

Legenda: MFPA - Massa fresca da parte aérea, MFR - Massa fresca da raiz, MSPA - Massa seca da parte aérea e MSR - Massa seca da raiz

CV: coeficiente de variação

ns: não significativo

A variabilidade de um atributo pode ser classificada, segundo Gomes (2002), de acordo com a magnitude do seu coeficiente de variação, que pode ser considerado baixo quando os valores forem menores que 10%, médios entre 10 e 20%, altos entre 20 e 30% e demasiadamente altos acima de 30%. Segundo os resultados da análise estatística apresentada na Tabela 5-17, a variabilidade foi baixa para a altura e média para a massa fresca e seca da parte aérea e para a massa seca da raiz. Já para a massa fresca da raiz, a variabilidade foi muito alta, com coeficiente de variação igual a 36,93%. Tais valores demonstram que a precisão do experimento foi relativamente elevada para a maioria dos caracteres agrônômicos analisados.

Os valores relativos às médias das características avaliadas, MFPA, MSPA, MFR, MSR e altura encontram-se na Tabela 5-18. Tanto para o parâmetro relacionado à produção, MSPA, quanto para os demais, não houve diferença significativa de produção entre os tratamentos propostos, podendo-se afirmar que o tratamento controle (adubação química) não se diferenciou, neste caso, dos tratamentos com o efluente da lagoa de polimento diluído e não diluído.

Tabela 5-18: Média dos parâmetros agrônômicos avaliados nos feijoeiros irrigados com 5 diferentes tratamentos.

| Tratamentos  | MFPA<br>(g) | MSPA<br>(g) | MFR<br>(g) | MSR<br>(g) | Altura<br>(cm) |
|--|-------------|-------------|------------|------------|----------------|
| T1- Adubação química + irrigação com água                | 11,35       | 1,93        | 2,76       | 1,92       | 18,96          |
| T2- Irrigação com efluente de lagoa de polimento a 25%   | 10,54       | 1,90        | 2,91       | 1,59       | 19,37          |
| T3- Irrigação com efluente de lagoa de polimento a 50%   | 11,10       | 1,80        | 2,78       | 1,70       | 18,33          |
| T4- Irrigação com efluente de lagoa de polimento a 75%,  | 10,29       | 1,93        | 2,98       | 1,62       | 17,90          |
| T5- Irrigação com efluente de lagoa de polimento a 100%. | 10,59       | 1,92        | 2,65       | 1,76       | 18,18          |

Legenda: MFPA - Massa fresca da parte aérea, MFR - Massa fresca da raiz, MSPA - Massa seca da parte aérea e MSR - Massa seca da raiz

Os valores encontrados para massa seca de raiz foram semelhantes aos detectados por Fageria (2000), que estudando o crescimento de plantas de feijão semeadas em vasos e cultivadas em casa de vegetação durante 29 dias, encontrou valores em torno de  $1,20 \text{ g vaso}^{-1}$ , enquanto que a produção de massa seca da parte aérea obtida pelo autor foi 63,8% maior do que a demonstrada na Tabela 5-18.

### 5.6.3 Análise dos nutrientes na parte aérea dos feijoeiros

A análise de variância, a média geral e o coeficiente de variação dos níveis de macro e micronutrientes avaliados nos feijoeiros do experimento encontram-se nas Tabelas 5-19 e 5-20, respectivamente. Observa-se que somente o N demonstrou diferença significativa entre os tratamentos pelo teste F, a nível de 5% de probabilidade. Este fato indica que pelo menos um tratamento difere significativamente dos demais com relação à concentração de N na parte aérea das plantas.

Tabela 5-19: Resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios e graus de liberdade (GL), seguida das estimativas dos coeficientes de variação (CV) e das médias, para os níveis de macronutrientes dos feijoeiros.

| Fonte de Variação | Quadrado Médio |         |                      |                      |                      |                      |                      |
|-------------------|----------------|---------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                   | GL             | N       | P                    | K                    | Mg                   | Ca                   | S                    |
| Blocos            | 3              | 0,7295  | 0,0012               | 0,2852               | 0,0034               | 0,0650               | 0,0017               |
| Tratamentos       | 4              | 0,5278* | 0,0003 <sup>ns</sup> | 0,1334 <sup>ns</sup> | 0,0011 <sup>ns</sup> | 0,0525 <sup>ns</sup> | 0,0008 <sup>ns</sup> |
| Resíduo           | 12             | 0,1016  | 0,0002               | 0,0661               | 0,0012               | 0,4177               | 0,0009               |
| CV (%)            | -              | 10,50   | 12,68                | 8,70                 | 9,98                 | 8,31                 | 11,62                |
| Média             | -              | 3,04g   | 0,11g                | 2,96g                | 0,35g                | 2,24g                | 0,26g                |

\*Significativo pelo teste F, ao nível de 5% de probabilidade

CV: coeficiente de variação

ns: não significativo a 5% de probabilidade

Tabela 5-20: Resumo da análise de variância com os respectivos quadrados médios e graus de liberdade (GL), seguida das estimativas dos coeficientes de variação (CV) e das médias, para os níveis de micronutrientes dos feijoeiros.

| Fonte de Variação | Quadrado Médio |                      |                      |                      |                       |                      |                    |
|-------------------|----------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|
|                   | GL             | Cu                   | Zn                   | Mn                   | Fe                    | B                    | Na                 |
| Blocos            | 3              | 3,2667               | 27,3833              | 56,7333              | 21971,40              | 16,3333              | 2,6667             |
| Tratamento        | 4              | 0,3250 <sup>ns</sup> | 0,6750 <sup>ns</sup> | 10,700 <sup>ns</sup> | 7460,50 <sup>ns</sup> | 20,825 <sup>ns</sup> | 3,95 <sup>ns</sup> |
| Resíduo           | 12             | 0,5583               | 4,5083               | 30,5667              | 10338,90              | 47,6250              | 1,4167             |
| CV (%)            | -              | 19,16                | 10,59                | 21,18                | 50,71                 | 12,57                | 45,78              |
| Média             | -              | 3,90g                | 20,05g               | 26,10g               | 200,50g               | 54,90g               | 2,60g              |

CV: coeficiente de variação

ns: não significativo a 5% de probabilidade

Com relação ao coeficiente de variação das análises realizadas na parte aérea dos feijoeiros, a variabilidade foi relativamente baixa para os nutrientes K, Mg e Ca; média para N, P, S, Cu, Zn, e B; alta para o micronutriente Mn e muito alta para Fe e Na.

São apresentados na Tabela 5-21 as concentrações médias dos macro e micronutrientes avaliados na parte aérea das plantas de feijão, o resultado do teste de Tukey para comparação de médias e os teores foliares de macro e micronutrientes de referência para o feijoeiro de acordo com Alvarez Viegas et al. (1999).

Tabela 5-21: Médias dos níveis de macro e micronutrientes avaliados na parte aérea das plantas de feijão seguidas dos valores de referência para a interpretação dos resultados de análises de tecidos do feijoeiro.

| Teores foliares dos feijoeiros determinados nos diferentes tratamentos |       |       |       |        |       | Teores foliares referenciais            |
|--|-------|-------|-------|--------|-------|---|
| Macronutrientes (dag Kg <sup>-1</sup> )                                | T1    | T2    | T3    | T4     | T5    | Macronutrientes (dag Kg <sup>-1</sup> ) |
| N  | 2,73b | 2,73b | 2,97b | 3,16ab | 3,60a | 3-3,5                                   |
| P  | 0,12  | 0,14  | 0,12  | 0,11   | 0,11  | 0,4-0,7                                 |
| K  | 3,11  | 3,00  | 2,96  | 3,07   | 2,61  | 2,7-3,5                                 |
| Mg   | 0,37  | 0,35  | 0,37  | 0,35   | 0,33  | 0,3-0,6                                 |
| Ca   | 2,32  | 2,19  | 2,27  | 2,18   | 2,19  | 2,5-3,5                                 |
| S  | 0,28  | 0,27  | 0,27  | 0,25   | 0,24  | 0,15-0,2                                |
| Micronutrientes (mg Kg <sup>-1</sup> )                                 |       |       |       |        |       | Micronutrientes (mg Kg <sup>-1</sup> )  |
| Zn   | 19,7  | 20,4  | 19,5  | 20,0   | 20,6  | 45-55                                   |
| Cu   | 4,4   | 3,8   | 4,1   | 3,9    | 4,3   | 8-10                                    |
| Mn   | 25,5  | 25,5  | 25,5  | 24,9   | 29,0  | 200-300                                 |
| Fe   | 187,5 | 159,5 | 179,9 | 272,4  | 203,0 | 300-500                                 |
| B  | 52,0  | 55,5  | 54,2  | 54,8   | 58,3  | 100-150                                 |
| Na   | 2     | 2     | 2     | 4      | 3     | -----                                   |

Legenda: T1-Adubação química + irrigação com água, T2- Irrigação com efluente de lagoa de polimento a 25%, T3- Irrigação com efluente de lagoa de polimento a 50%, T4- Irrigação com efluente de lagoa de polimento a 75%, T5- Irrigação com efluente de lagoa de polimento a 100%

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem entre si significativamente ao nível de 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey

Para os macronutrientes P, K, Mg, Ca e S e os micronutrientes Cu, Zn, Mn, Fe, B e Na quantificados na parte aérea dos feijoeiros, não existem diferenças significativas, ou seja, a utilização dos tratamentos T2, T3, T4 e T5 foi equivalente à adubação química associada a irrigação com água (T1).

De acordo com a Tabela 5-21, durante a fase vegetativa dos feijoeiros, as concentrações de N, com exceção dos tratamentos T4 e T5 e as concentrações de P e Ca detectadas na parte aérea dos feijoeiros estão abaixo dos teores mínimos necessários para o bom desenvolvimento dessa cultura. Efeito contrário ocorreu com o S em todos os tratamentos, onde suas concentrações encontram-se acima da faixa de suficiência. As concentrações de K e Mg na parte aérea das plantas de feijão, encontram-se dentro da faixa de referência. Os teores dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn nas folhas situam-se abaixo dos valores citados por Alvarez Viegas et al. (1999).

Os feijoeiros irrigados com tratamento T5 foram os que apresentaram maiores concentrações de N na parte aérea, não diferindo significativamente do tratamento T4, mas diferindo dos tratamentos T1, T2 e T3. As melhores respostas obtidas nas plantas irrigadas com os tratamentos T5 e T4 mostram estreita correlação linear positiva ( $r = 0,9819$ ) entre o acúmulo de N pela parte aérea dos feijoeiros e as concentrações de N nos tratamentos (Figura 5-16).

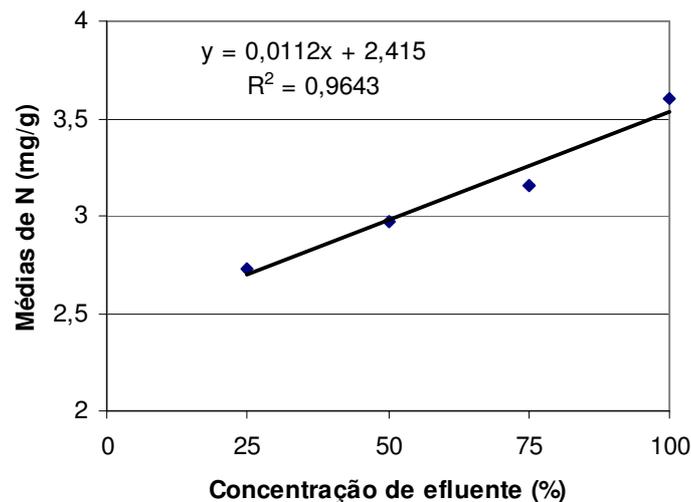


Figura 5-16: Variação do nível de N em relação às concentrações do efluente nos tratamentos T2 (efluente de lagoa de polimento a 25%), T3 (efluente de lagoa de polimento a 50%), T4 (efluente de lagoa de polimento a 75%) e T5 (efluente de lagoa de polimento a 100%).

#### 5.6.4 Concentração de nutrientes disponibilizados pelo efluente da lagoa de polimento aos feijoeiros

Ao término do experimento foi calculado o volume total de efluente utilizado na irrigação das plantas de feijão. As plantas dos 25 vasos dos blocos B1, B2, B3 e B4, foram irrigadas respectivamente com: 2,7; 2,6; 2,6 e 2,7 litros por vaso. A partir desse volume foi avaliada a quantidade de nutrientes disponível para as plantas durante todo o experimento, considerando o teor dos principais macro e micronutrientes utilizados na fertirrigação do feijoeiro: N, P, K, Ca, Mg, Al, Cu, Fe, Mn e Zn.

Na Tabela 5-22 são apresentadas as concentrações dos nutrientes fornecidos à cultura do feijoeiro pelo efluente da lagoa de polimento sem diluição e os valores referenciais segundo Dadalto & Fullin (2001). Os valores encontrados para todos os nutrientes são considerados muito baixos para o bom desenvolvimento do feijoeiro. As concentrações desses nutrientes são 75, 50 e 25% menores para os tratamentos T4, T3 e T2, respectivamente. Essa deficiência de macro e micronutrientes provocou pequeno desenvolvimento dos feijoeiros, com amarelecimento e posterior perda das folhas mais antigas, o que interrompeu o experimento aos 35 dias após a semeadura.

Tabela 5-22: Valores de referência e a quantidade de nutriente disponível para as plantas irrigadas com efluente da lagoa não diluído (T5).

| Nutrientes | Concentrações fornecidas aos feijoeiros (mg/dm <sup>3</sup> ) | Valores médios referenciais (mg/dm <sup>3</sup> ) |
|------------|---|---|
| Nitrogênio | 26,90   | 30 - 50   |
| Fósforo    | 5,76  | 11 - 20   |
| Potássio   | 11,70   | 31 - 60   |
| Cálcio     | 27,90   | 320-800   |
| Magnésio   | 7,40  | 73,8-121,5  |
| Alumínio   | 1,44  | 36-90   |
| Cobre      | 0,05  | 1,6- 20   |
| Ferro      | 0,45  | 32 - 200  |
| Manganês   | 0,09  | 12 - 130  |
| Zinco      | 0,09  | 7 - 40  |

Apesar da quantidade de nutrientes fornecida ter sido insuficiente para suprir as necessidades dos feijoeiros, os resultados aqui apresentados indicam que o efluente da lagoa de polimento utilizado na fertirrigação de plantas de feijão substituiu a água doce, de qualidade superior, normalmente utilizada na irrigação de culturas.

A quantidade de água doce disponível no planeta é escassa e considerada por muitos especialistas em meio ambiente como o grande problema deste milênio. Além do problema de escassez de água, o lançamento do efluente tratado de forma insuficiente está causando uma situação de insustentabilidade. Reutilizar a água do sistema de tratamento de esgotos por lagoas de estabilização torna-se uma questão de bom senso. Além disso, segundo Jordão & Pessoa (1995), para a construção de estações de tratamento de esgotos, por medida de

precaução, deve ser mantido o distanciamento mínimo de 500m das habitações. A utilização da área adjacente à ETE para o reúso da água residuária na agricultura pode impedir o avanço da urbanização na direção da ETE, disponibilizando a área e a água para atividades produtivas de culturas diversas.

---

## 7. Conclusões

Do presente trabalho, pode-se concluir que:

1. O sistema de tratamento de esgotos utilizado neste estudo, RAC + lagoa de polimento, foi pouco eficiente na remoção de matéria orgânica (DQO<sub>t</sub> e DQO<sub>f</sub>) em virtude da elevada presença de microalgas no efluente. A remoção de nutrientes também não foi muito significativa, promovendo eficiências médias de 26% para NTK, 22% para amônia, 5% para P<sub>total</sub> e 19% para ortofosfatos, devido principalmente aos valores de pH inferiores a 9 observados na maioria das determinações. A quantidade de nutrientes remanescentes possibilitou a redução do uso de fertilizantes convencionais nos experimentos de hidroponia, com conseqüente incremento na produção da alface a um custo reduzido;
  2. A associação RAC + lagoa de polimento também foi pouco eficiente na remoção de *Escherichia coli*, apresentando concentração média de  $9,7 \times 10^5$  NMP L<sup>-1</sup>, provavelmente devido ao baixo tempo de detenção hidráulica do efluente na lagoa; indicando que cuidados devem ser tomados quando esse efluente é aplicado na irrigação de culturas;
  3. O sistema de pós-tratamento físico-químico apresentou excelente desempenho na remoção de matéria particulada e matéria orgânica remanescente da lagoa de polimento, produzindo um efluente mais favorável para reutilização, bem como atendendo aos padrões de lançamento mais restritivos;
-

4. O tratamento físico-químico gerou uma significativa remoção de *E. coli* do efluente da lagoa de polimento, da ordem de 88%, e de microalgas em termos de clorofila “a”, resultando num efluente com concentração final média de  $125\mu\text{g L}^{-1}$  e eficiência média de remoção de algas de 84%;
  5. Apesar dos efluentes utilizados no cultivo hidropônico apresentarem níveis bacteriológicos acima dos padrões estabelecidos pela OMS, os níveis de contaminação encontrados na parte aérea das alfaces são inferiores aos estabelecidos pela ANVISA. Portanto, é possível cultivar alface hidropônica com baixos níveis de microorganismos patogênicos utilizando efluente da lagoa de polimento e do pós-tratamento físico-químico, desde que sejam tomadas algumas precauções, principalmente no momento da coleta das plantas;
  6. A utilização de sistemas de cultivo como a hidroponia, utilizando-se efluente como fonte de água, tende a diminuir a possibilidade de contaminação das folhas das alfaces;
  7. Cultivos hidropônicos de alfaces com efluentes de lagoas de polimento, quando realizados em casa de vegetação no período de verão, necessitam de um tratamento complementar devido à grande quantidade de sólidos e algas presentes nesse efluente, que se agregaram às raízes das plantas dificultando sua oxigenação e posterior absorção de água e nutrientes;
  8. O tratamento físico-químico do efluente da lagoa, por apresentar um bom desempenho na remoção de matéria particulada, representada principalmente pelas microalgas suspensas, é necessário para promover um crescimento semelhante das plantas cultivadas com este efluente comparadas às plantas irrigadas com solução nutritiva convencional, quando o cultivo é realizado no período de verão;
-

9. Cultivos hidropônicos de alfaces com efluentes de lagoas de polimento realizados em casa de vegetação no período de inverno, quando a incidência de luz solar e conseqüentemente a reprodução das algas é menor, podem ser realizados com efluentes diluído 50% produzindo plantas semelhantes àquelas cultivadas com solução nutritiva convencional e efluente pós-tratamento físico-químico;
  10. Os valores médios de massa fresca da parte aérea e da raiz obtidos no cultivo de verão, para todos os tratamentos propostos, foram inferiores aos encontrados no cultivo de inverno, em razão deste último ter sido realizado em períodos cuja temperatura média do ar permaneceu mais próxima das ideais para o plantio de alface;
  11. Nos experimentos de verão e de inverno os teores dos macronutrientes detectados na parte aérea das alfaces assemelham-se aos citados na literatura. Com relação à concentração dos micronutrientes, alguns encontraram-se acima dos teores referenciais, mas não foi observado nenhum efeito visível de fitotoxicidade nas plantas;
  12. Nos experimentos com feijoeiros, as cinco soluções utilizadas na fertirrigação das plantas não acarretaram em diferenças significativas com relação aos parâmetros altura, massa fresca e massa seca da parte aérea e da raiz e com relação aos macronutrientes P, K, Mg, Ca, S e aos micronutrientes Cu, Zn, Mn, Fe, B e Na quantificados na parte aérea dos feijoeiros, ou seja, os efluentes diluídos nas diferentes concentrações empregadas foram equivalentes à solução nutritiva utilizada como testemunha;
  13. Somente para o nitrogênio observou-se diferença significativa com relação à concentração de nutrientes na parte aérea das plantas de feijão. As plantas cultivadas com efluente da lagoa de polimento 100% foram as que apresentaram teores de N mais elevados, não diferindo significativamente dos feijoeiros fertirrigados com efluente da lagoa de polimento diluído 75%, mas diferindo dos cultivados com
-

água+adubação química e com o efluente da lagoa de polimento diluído 25% e 50%;

14. O efluente da lagoa de polimento mostrou-se eficiente em substituir totalmente a água de irrigação. Entretanto, foi parcialmente eficiente no atendimento das necessidades nutricionais mínimas para o completo desenvolvimento dos feijoeiros, sendo necessário, portanto, uma correção na composição dos efluentes.
-

## **8. *Recomendações***

Como recomendações, podem-se citar:

1. Estudar a remoção de outros microrganismos na lagoa de polimento e no sistema de pós-tratamento físico-químico, tais como os vírus entéricos, entre outros;
  2. Avaliar a concentração de outros organismos patogênicos, como os vírus entéricos e protozoários, na parte aérea de hortaliças cultivadas com efluentes sanitários;
  3. Pesquisas posteriores devem ser conduzidas para verificar se a utilização de efluente de lagoa de polimento, enriquecido de macro e micronutrientes, em função da concentração requerida pela cultura do feijoeiro, propiciaria um desenvolvimento adequado das plantas de feijão nos estágios de florescimento e frutificação.
-

## 8. **Referências Bibliográficas**

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução – RDC nº. 12, de 02 de janeiro de 2001.** Disponível em: <[http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12\\_01\\_rdc.html](http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01_rdc.html)>. Acesso em: 10 jan. 2006.

ALBERONI, R.B. **Hidroponia: como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo.** São Paulo: Nobel, 1998. 102 p.

AGUIAR, R. G. **Comportamento de famílias F<sub>2:3</sub> 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.

ALVARENGA, M.A.R.; SILVA, E.C.; SOUZA, R.J.; CARVALHO, J.G. **Crescimento, teor e acúmulo de macronutrientes em alface americana sob doses de N aplicados no solo e de níveis de cálcio aplicados via foliar.** Horticultura Brasileira, Brasília, 2000. v. 18, Suplemento, p. 803-804.

ALVAREZ VIEGAS, V. H.; NOVAIS, R. F.; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ VIEGAS, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG: Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais. Minas Gerais, 1999. p. 25-32.

---

ANDRADE NETO, C.O. de. O uso de esgotos sanitários e efluentes tratados na irrigação. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM – CONIRD-ABID, 9., 1991, Natal. **Anais**. Fortaleza: ABID, 1992. v. 2, p. 1961-2006.

ARAÚJO, L. de F. P. **Reuso, com lagoas de estabilização, potencialidade no Ceará**. Fortaleza: SEMACE, 2000. 132 p.

AWWA, WEF. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington – DC: APHA, 1995.

AYRES, R.M.; ALABASTER, G.P.; MARA, D.D. **A design equation for human intestinal nematode egg removal**. Water Research, 1992. v. 26, n.6, p. 863 - 865.

AYERS, R.S. & WESTCOT, D.W. **Water Quality for Agriculture**. FAO, Roma, 1985. Documento n. 29, Revisado 1. 218 p.

AZEVEDO L. P. de; OLIVEIRA E. L. de. **Efeitos da aplicação de efluente de tratamento de esgoto na fertilidade do solo e produtividade de pepino sob irrigação subsuperficial**. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, jan./abr. 2005. v.25, n.1, p.253-263.

BARTA, D.J. **Troubleshooting problems with leafy crops**. In: ANNUAL CONFERENCE ON HYDROPONICS, 13., 1992, Orlando. Proceedings... Orlando, Florida: Hydroponic Society of America, 1992. p.18-26.

BASTOS, R.K.X.; BEVILACQUA, P.D.; HELLER, L.; VIEIRA, M.B.M.; BRITO, L.A. **Abordagem epidemiológico-sanitária do tratamento e da qualidade parasitológica da água: entre o desejável e o possível**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2001, João Pessoa. *Anais...* Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.

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

---

BASTOS, R. K. X. **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e psicultura.** ABES, RiMa, 2003. 267 p.

BASTOS R.K.X. & MARA, D.D. **Avaliação dos critérios e padrões de qualidade microbiológica de esgotos sanitários tendo em vista sua utilização na agricultura.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 17, Natal-RN, 1993. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, Tomo 1,1993. v. 2, p. 422-439.

BATAGLIA, O. C. **Métodos de análise química de plantas**, por Ondino Cleante Bataglia, Ângela Maria Gangiani Furlani, João Paulo Feijão Teixeira, Pedro Roberto Furlani e José Romano Gallo. Campinas: Instituto Agrônomo, 1983. 48 p.

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

BERNARDI, C. C. **Reuso de Água para Irrigação.** Monografia (Especialização) MBA. ISAE-FGV/ECOBUSINESS SCHOOL, Brasília – DF, 2003. 52 p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação.** Viçosa: UFV, 6. ed. 1996.

BIO. **Água potável:** esforço de todos. Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente, Ano IX, n 07, Jul. /Set. 1998. p. 09 -11.

BISCARO, G. A. **Utilização de águas receptoras de efluentes urbanos em sistemas de irrigação localizada superficial e subsuperficial na cultura da alface americana (*Lactuca sativa* L.).** Tese (Doutorado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista. Botucatu, 2003. 102 p.

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

---

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância Sanitária. Portaria nº 451, de 19 de setembro de 1997. In: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ALIMENTOS. **Compêndio de legislação de alimentos**. São Paulo: ABIA, 1997. v.1A.

BUENO, C. R. **Adubação nitrogenada em cobertura via fertirrigação por gotejamento para alface americana em ambiente protegido**. Dissertação de Mestrado em Agronomia/Fitotecnia. Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1998. 54 p.

CAMARGO, L.S. **As hortaliças e seu cultivo**. Campinas: Fundação Cargill, Ed.3 rev., 1992. 252 p.

CAMPOS, C.; GUERRERO, A.; CÁRDENAS, M. **Removal of bacterial and viral faecal indicator organisms in a waste stabilization pond system in Choconta, Cundinamarca (Colombia)**. Water Science & Technology, 2002. v.45, n.1, p.61-66.

CAMPOS, J.P.; POVINELLI, J. **Coagulação e Floculação**. Técnicas de Abastecimento e Tratamento de Água. São Paulo, CETESB, 1987. n. 2, p.91-120.

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

CAVALCANTI, P. F.F. et al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lagoas de polimento**. In: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. CHERNICHARO, C. A. L. (coord.), Projeto PROSAB, Belo Horizonte [s.n.]. 2001 cap. 3, p. 105-170.

CAVALCANTI, P. F. F.; van HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. **Accumulation of bottom solids in polishing ponds treating digested sewage**. Anais da I Conferência Latino Americana en Lagunas de Estabilizacion Y Reuso. Santiago de Cali – Colômbia, 24-27 out. 2000, p. 236-244.

---

CETESB/L5.218. **Salmonella** isolamento e identificação - Método de ensaio. São Paulo, Brasil, 1993.

CHERNICHARO, C.A.L. et al., **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. ABES. 1 ed. Belo Horizonte: 2001.

CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG -DESA, Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG, Belo Horizonte, 1997. v. 5, cap.3, p. 85-88.

COUTO, F. A. A.; BRANCO, A. A. **Efeito de fontes de ozônio na fertilização da alface**. Revista de Olericultura, 1963. v. 3, p 5-11.

CROOK, J. **Quality criteria for reclaimed water**. Water Science and Technology. 24 (9), 1991. p. 109-121.

CRUZ, L. S. **Variação temporal das comunidades fitoplanctônicas de uma lagoa de polimento precedida de um reator anaeróbio compartimentado, tratando esgoto sanitário**. Dissertação (M.S.) de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2005.

CURTIS, T. P.; MARA, D. D.; SILVA, S.A. **The effect of sunlight on faecal coliforms in ponds: implications for research and design**. Water Science and Technology. 1992. v.26, n.7-8, p.729-1738.

DADALTO, G. G.; FULLIN, E. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo – 4a aproximação**. Vitória, ES: SEEA/INCAPER 2001, 266 p.

DAVIS, R. M. (Ed.); Subbarao, K. V.; Raid, R. N.; Kurtz, E. A. **Compendium of lettuce diseases**. St. Paul: The American Phytopathological Society, 1997. 79 p.

---

DEBOUCK, D. Systematics and morphology. In: van Schoonhoven, A.; Voysest, O. (eds). **Common beans - research for crop improvement**. Cali, CAB International, CIAT, 1993. p. 55-118.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 218p.

EAGLESHAM, A. R. J.; HASSOUNA, S.; SEEGER, R. **Fertilizer-N effects on N<sub>2</sub> fixation by cowpea; soybean**. *Agronomy Journal*, 1983. v.75, p.61-66.

EMBRAPA. Manual de métodos de análise de solo. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS, 1997, 212p.

FAGERIA, N. K. **Níveis adequados e tóxicos de boro na produção de arroz, feijão, milho, soja e trigo em solo de cerrado**. Campina Grande. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 2000. v.4, n.1, p.57-62.

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

FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; VILELA, L.A.A. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA, 1996. 50 p.

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

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.

FERNANDES, P.D.; OLIVEIRA, G.D. de; HAAG, H.P. Nutrição mineral de hortaliças. XIV. **Absorção de macronutrientes pela cultura da alface**. *Revista "O solo"*, 1971. ano 63, p. 7-10.

---

FERREIRA, A. N.; ARF, O.; CARVALHO, M. A. C.; ARAÚJO, R.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S. **Estirpes de *Rhizobium tropici* na inoculação do feijoeiro.** Scientia agrícola, 2000. v. 57, n.3, p. 507-512.

FERREIRA, C. M. **Comercialização de feijão no Brasil 1990-1999.** Piracicaba-SP, 2001. 145 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura.** São Paulo: Ceres, 1982. 357 p.

FRIEDMAN, A. A.; PEAKS, D. A.; NICHOLS, R. L. **Algae separation from oxidation pounds.** Journal Water Pollution Control Federation, 1997. n. 1, p. 111-119.

FURLANI, P.R.; BOLONHEZI, D.; SILVEIRA, L.C.P.; FAQUIN, V. **Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas.** *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v. 20, n. 200-01, 1999.

GARCIA, L.L.C.; HAAG, H.P.; DIEHL NETO, W. Nutrição mineral de hortaliças: deficiências de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. In: HAAG, H.P.; MINAMI, K. (Ed.). **Nutrição mineral em hortaliças.** Campinas, SP: Fundação Cargill, 1988. p. 77-99.

GOMES, F. P., GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais:** exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. v.11. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

GOTO, R. ; GUIMARÃES, V. F.; ECHER, M. M. Aspectos fisiológicos e nutricionais no crescimento e desenvolvimento de plantas hortícolas. In: Folegatti, M. V. et al. **Fertirrigação – flores, frutas e hortaliças.** Guaíba: Agropecuária, 2001. p. 241-268.

GRAHAM, P. H. **Some problems of nodulation and symbiotic nitrogen fixation in *Phaseolus vulgaris* L.:** A review. Field Crops Research, v. 4, 1981. p. 93-111.

GUEDES, G. A. A.; JUNQUEIRA NETTO, A. **Calagem e adubação.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 4, out. 1978. n. 46, p. 21-23.

---

GUPTA, U.C.; GUPTA, S.C. **Trace element toxicity relationship to crop production and livestock and human health: implications form manegement.** *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, v. 29, 1998. p. 1491-1522.

HIDALGO, P.C.; TAKAHASHI, F.Y.; RUBENS, F. **Desempenho de cinco cultivares de alface em hidroponia.** *Horticultura Brasileira*. Brasília. v.23, jul. 2005, n.2. p.178-181.

HOFSTRA H; HUISIN'T VELD, J.H.J. **Methods for the detection and isolation of *Escherichia coli* including pathogenic strains.** *Journal of Applied Bacteriology Symposium Supplement*,1998. p.197-212.

HUBBELL, D. H.; KIDDER, G. **Biological nitrogen fixation.** IFAS Extension - Institute of Food and Agricultural Sciences: University of Florida, SL16, 2003.

JONES JR, J. B. **Hidroponics: its history and use in plant nutrition studies.** *J. Plant Nutr.*, v.5, 1982, n.8, p.1003-1030.

JORDÃO, E.P. e PESSOA, C.A. **Tratamento de Esgoto Domésticos.** 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 720 p.

KATO, M. T. et al. Configurações de reatores anaeróbios. In: CAMPOS, J. R. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, 1999. cap. 3, p. 53-100, 405 p.

KÖNIG, A. **Biología de las lagunas de estabilización: *algas*.** In: MENDONÇA, S.R. (Coord.). *Sistemas de Lagunas de estabilización: cómo utilizar aguas residuales tratadas en sistemas de regadío.* [s.l.: McGraw Hill, 2000. p. 44-67.

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, p. 193-202, 2000.

LEON SUEMATSU, G.; MOSCOSO CAVALLINI, J. **Tratamento e uso de águas residuárias.** Campinas grande: UFPA, 1999. 109 p.

---

LÉON, G.; MOSCOSO, J. **"Curso de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales"**. CEPIS – Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. OPS - Organização Pan-Americana de Saúde, Lima, Peru, 1996. 151 p.

LÉON, G. S.; CAVALLINI, J. M. **Tratamento e uso de águas residuárias**. Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1999. 151 p.

LONDERO, F. A. A.; Aita, A. Comercialização de alface hidropônica. In: Santos, O. **Hidroponia da Alface**. Santa Maria: UFSM, 2000. p. 5-9.

MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição de plantas**. Ed. Agroceres, SP. 1980. p. 284.

MALAVOLTA, E.; LIMA FILHO, O. F. Nutrição e adubação do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) **Tecnologia da produção de feijão irrigado**. Piracicaba: ESALQ, 1997. p. 22-51.

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

MANSO CORREIA, M.; MARECOS DO MONTE, M. H. **Sebenta de qualidade da água e controlo de poluição**. Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 1998.

MARA, D. D.; PEARSON, H. **Design manual for waste stabilization ponds in mediterranean countries**. Lagoon Technology International Ltd. 1998

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. Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil. 1994.

MAROVELLI, W. A.; SILVA, H. R. da; SILVA, W. L. C. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 3º Ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/CNPQ, 1989, 16 p. Circular Técnica, 2.

---

MARROCOS, N.R.M; Mendonça, I.F.de; Neto, E; Barreto, L.P.; Sebastião José de Arruda Júnior, S.J. de. **Crescimento de alface em função do pH da solução nutritiva**. Horticultura Brasileira, v. 21, n. 2, jul. 2003 – Suplemento CD.

MARTINEZ, E. P. **Formulações de soluções nutritivas para cultivos hidropônicos comerciais**. Editora Afiliada. Faculdade de Ciências Agronômica 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.; SILVA FILHO, J. B. da. **Introdução ao cultivo hidropônico de plantas**. Viçosa: UFV. 2. ed. 2004. 111 p.

MELLOUL, A. A.; HASSABI, L.; RAFOUK, L. **Salmonella contamination of vegetables irrigated with untreated wastewater**. World Journal of Microbiology and Biotechnology. V.17, 2001. n.2, p.207-209,

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment, disposal, reuse**. 3. ed. Singapore, McGraw Hill, 1991.

MIDDLEBROOKS, E.J. **Upgrading pond effluents: an overview**. Water Science & Technology, v. 31, 1995. n.12, p. 353-368.

NAKAGAWA, J.; BÜLL, L.T.; PROCHNOW, L.I.; VILLAS BOAS, R.L. **Efeitos de compostos orgânicos na cultura do alface (*Lactuca sativa* L.)**. Série I. Científica, São Paulo, v.20, 1992. n.1, p.173-180.

OHSE, S.; DURANTE, E. Qualidade nutricional da alface. In: SANTOS, S. dos S. (Ed.). **Hidroponia da Alface**. Santa Maria, UFSM, ACHAR. 1998. p. 72-85.

OLIVEIRA, F. F.; Gonçalves, R. F. **Principais tecnologias empregadas no polimento do efluente de lagoas de estabilização**. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Rio de Janeiro. Anais eletrônicos, 1999.

---

ONYANGO, E. **Oferta de água em 2025**. In: Lista Fonte d'água. Centro de Referência do Everglades (USA), Movimento de Cidadania pelas Águas. Water Media Network, 16 nov. 2002. Disponível em: <[http://archives.ces.fau.edu/fonte\\_dagua.html](http://archives.ces.fau.edu/fonte_dagua.html)>. Acesso em: 20 Nov. 2005.

RAMOS, J. E. L. **Sombreamento e tipos de recipientes na formação de mudas e produção em alface**. Dissertação de Mestrado. Mossoró, ESAM, 1995. 53 p.

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

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

RESH, H. M. **Hydroponic food production**: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower. Santa Barbara: Woodbridge Press Publishing Company, 1997.

RHEE, G.Y.; GOTHAM, I.J. **The effect of environmental factors on phytoplankton growth**: light and the interactions of light with nitrate limitations. *Limnol. Oceanogr.* v. 26. p. 649-659.1981.

RICCI, M.S.F.; CASALI, V.W.D.; CARDOSO, A.A.; RUIZ, H.A. Teores de nutrientes em duas cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) adubadas com composto orgânico. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21, 1994, Petrolina, **Resumos...** Petrolina: EMBRAPA-CPATSA/SBCS,1994. p.326-327.

ROCHA, M. L. A. Remoção de algas, nutrientes e coliformes de lagoas de estabilização facultativas em operação no Espírito Santo através de coagulação-floculação-decantação em escala laboratorial. **Dissertação de mestrado**. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. **2000**.

---

ROORDA van EYSINGA, J.P.N.L. & SMILDE, K.W. **Nutritional disorders in glasshouse tomatoes, cucumbers and lettuce**. Wageningen, Holanda: Centre for agricultural publishing and documentation, 1981. 56 p.

SALATIAL, L.T.; BRANCO, R.B.F.; MAY, A.; BARBOSA, J.C.; PAULA, C.M.; CECILIO FILHO, A.B. **Avaliação de cultivares de alface em diferentes épocas de plantio, cultivadas em casa de vegetação**. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 19, suplemento CD-ROM, jul. 2001.

SANTOS, O. S. dos. Conceito e histórico. In: SANTOS, S. dos S. (Ed.). **Hidroponia da alface**. Santa Maria: UFSM, 1998a. p. 1-3.

SANTOS, O. S. dos. Soluções nutritivas. In: SANTOS, S. dos S. (Ed.). **Hidroponia da alface**. Santa Maria, RS: UFSM, 1998b. p. 72-85.

SCHUBERT, K. R. **Products of biological nitrogen fixation in higher plants: synthesis, transport and metabolism**. Annual Review of Plant Physiology, v.37, 1986. p. 539-574.

SHIKLOMANOV, L. A. Global Water Resources. In: **Nature and Resources**, PARIS, UNESCO, v. 26, 1990. p. 34-43.

SOUZA, W.G. de. **Associação em série de um reator anaeróbio compartimentado, uma lagoa de polimento e um sistema de pós-tratamento físico-químico para tratamento terciário de esgoto sanitário**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo. 2005

STAFF, H. **Hidroponia**. Cuiabá: SEBRAE/MT, 2<sup>a</sup> ed. 101p. Coleção Agroindústria; v. 11. 1998.

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

TRANI, P.E.; RAIJ, B. van. Hortaliças. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C.(Ed.). **Recomendações de adubação e**

---

**calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. ver. atual. Campinas: Instituto Agrônômico/ Fundação IAC, 1997. cap. 18, p. 157-185. Boletim Técnico, 100.

VAN HAANDEL, A.C.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos**. Campina Grande: Epgraf, 1994.

VESEY, G., SLADE, J.S., BYRNE, M. **A new method for the concentration of *Cryptosporidium* oocysts from water**. Journal of Applied Bacteriology, v.75, 1993. p. 82-86.

VIEIRA, C. **O feijoeiro-comum**: cultura, doenças e melhoramento. Imprensa Universitária, Viçosa-MG, 1967.

VIEIRA, C., PAULA JÚNIOR, T. J. de, BORÉM, Aluizio. **Feijão**: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas. Viçosa: UFV, 1998. 596 p.

von SPERLING, M. Lagoas de estabilização. In: GONÇALVES, R. F. **Desinfecção de efluentes sanitários**. ABES. Rio de Janeiro, 2003.

von SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, v. 1. 1996. 243 p.

von SPERLING, M. **Performance evaluation and mathematical modelling of coliform die-off in tropical and subtropical waste stabilization ponds**. Water Research, 33 (6), 1999.

von SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. DESA-UFMG, v.1 1995. 240p.

WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Reuse of effluents**: methods of wastewater treatment and health safeguards. Of a WHO meeting of experts. Technical report series N° 517. Genebra, 1973.

YANEZ, F. **Lagunas de estabilización**: teoria, diseño, evaluacion y mantenimiento. Cuenca, Ecuador, Imprenta Monsalve, 1993. 421 p.

---

ZERBINI, A. M.; CHERNICHARO, C. A. L. Metodologia para Enumeração, Identificação e Análise de Viabilidade de Ovos de Helmintos em Águas Brutas e Tratadas. **In: Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios, Aspectos Metodológicos.** Carlos A. L. Chernicharo (coordenador). ABES. Belo Horizonte, 2001. p. 70-107.

---

## Anexo A - Resultados das análises realizadas nas alfaces cultivadas no período de verão seguidos da análise de variância

| Variáveis         | Tratamentos | N  | Média    | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo |
|-------------------|-------------|----|----------|---------------|--------|--------|
| MFPA              | 1           | 16 | 73,56    | 29,15         | 39,00  | 142,00 |
|                   | 2           | 16 | 83,25    | 27,42         | 47,00  | 135,00 |
|                   | 3           | 16 | 7,31     | 6,39          | 1,00   | 20,00  |
|                   | 4           | 16 | 12,44    | 9,66          | 3,00   | 31,00  |
|                   | Total       | 64 | 44,14    | 40,27         | 1,00   | 142,00 |
| MSPA              | 1           | 16 | 4,13     | 1,20          | 2,00   | 6,00   |
|                   | 2           | 16 | 4,81     | 1,83          | 3,00   | 9,00   |
|                   | 3           | 16 | 1,31     | 0,48          | 1,00   | 2,00   |
|                   | 4           | 16 | 1,44     | 0,63          | 1,00   | 3,00   |
|                   | Total       | 64 | 2,92     | 1,95          | 1,00   | 9,00   |
| MFR               | 1           | 16 | 11,75    | 4,07          | 3,00   | 18,00  |
|                   | 2           | 16 | 19,56    | 6,38          | 10,00  | 31,00  |
|                   | 3           | 16 | 6,63     | 1,54          | 3,00   | 9,00   |
|                   | 4           | 16 | 6,69     | 1,70          | 4,00   | 9,00   |
|                   | Total       | 64 | 11,16    | 6,57          | 3,00   | 31,00  |
| MSR               | 1           | 16 | 1,13     | 0,34          | 1,00   | 2,00   |
|                   | 2           | 16 | 1,75     | 0,45          | 1,00   | 2,00   |
|                   | 3           | 16 | 1,00     | 0,00          | 1,00   | 1,00   |
|                   | 4           | 15 | 1,00     | 0,00          | 1,00   | 1,00   |
|                   | Total       | 63 | 1,22     | 0,42          | 1,00   | 2,00   |
| Coliformes totais | 1           | 16 | 8,78E+00 | 9,14E+00      | 1,20   | 28,20  |
|                   | 2           | 16 | 7,03E+00 | 3,90E+00      | 2,00   | 13,92  |
|                   | 3           | 16 | 1,24E+01 | 2,26E+01      | 0,00   | 96,00  |
|                   | 4           | 16 | 2,23E+01 | 5,13E+01      | 0,00   | 210,50 |
|                   | Total       | 64 | 1,26E+01 | 2,84E+01      | 0,00   | 210,50 |
| <i>E. coli</i>    | 1           | 16 | 1,95E-01 | 4,00E-01      | 0,00   | 1,00   |
|                   | 2           | 16 | 1,15E+00 | 1,24E+00      | 0,00   | 4,00   |
|                   | 3           | 12 | 5,83E-01 | 9,96E-01      | 0,00   | 3,00   |
|                   | 4           | 16 | 8,13E-01 | 1,17E+00      | 0,00   | 3,00   |
|                   | Total       | 60 | 6,92E-01 | 1,05E+00      | 0,00   | 4,00   |
| Nitrogênio        | 1           | 4  | 49,00    | 3,74          | 45,00  | 54,00  |
|                   | 2           | 4  | 46,00    | 3,92          | 42,00  | 51,00  |
|                   | 3           | 4  | 46,25    | 0,96          | 45,00  | 47,00  |
|                   | 4           | 4  | 45,00    | 3,56          | 42,00  | 50,00  |
|                   | Total       | 16 | 46,56    | 3,31          | 42,00  | 54,00  |
| Fósforo           | 1           | 4  | 11,10    | 1,90          | 8,80   | 12,80  |
|                   | 2           | 4  | 11,00    | 1,12          | 10,10  | 12,60  |
|                   | 3           | 4  | 5,95     | 2,08          | 2,90   | 7,60   |
|                   | 4           | 4  | 6,30     | 0,35          | 5,80   | 6,60   |
|                   | Total       | 16 | 8,59     | 2,89          | 2,90   | 12,80  |

Continuação...

| Variáveis | Tratamentos | N  | Média  | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo |
|-----------|-------------|----|--------|---------------|--------|--------|
| Potássio  | 1           | 4  | 76,00  | 13,78         | 57,50  | 90,00  |
|           | 2           | 4  | 91,38  | 8,44          | 82,00  | 102,50 |
|           | 3           | 4  | 81,13  | 6,33          | 75,00  | 90,00  |
|           | 4           | 4  | 82,88  | 11,95         | 72,50  | 100,00 |
|           | Total       | 16 | 82,84  | 11,02         | 57,50  | 102,50 |
| Magnésio  | 1           | 4  | 55,00  | 4,08          | 50,00  | 60,00  |
|           | 2           | 4  | 48,75  | 4,79          | 45,00  | 55,00  |
|           | 3           | 4  | 35,00  | 4,08          | 30,00  | 40,00  |
|           | 4           | 4  | 27,25  | 15,50         | 4,00   | 35,00  |
|           | Total       | 16 | 41,50  | 13,69         | 4,00   | 60,00  |
| Cálcio    | 1           | 4  | 19,88  | 1,65          | 17,50  | 21,00  |
|           | 2           | 4  | 20,00  | 3,34          | 16,50  | 24,50  |
|           | 3           | 4  | 13,75  | 1,55          | 12,50  | 16,00  |
|           | 4           | 4  | 14,25  | 1,19          | 13,50  | 16,00  |
|           | Total       | 16 | 16,97  | 3,60          | 12,50  | 24,50  |
| Enxofre   | 1           | 4  | 3,78   | 0,46          | 3,30   | 4,40   |
|           | 2           | 4  | 4,03   | 1,33          | 3,10   | 6,00   |
|           | 3           | 4  | 3,55   | 0,53          | 3,00   | 4,10   |
|           | 4           | 4  | 2,55   | 0,13          | 2,40   | 2,70   |
|           | Total       | 16 | 3,48   | 0,89          | 2,40   | 6,00   |
| Cobre     | 1           | 4  | 13,00  | 2,94          | 10,00  | 16,00  |
|           | 2           | 4  | 14,75  | 1,71          | 13,00  | 17,00  |
|           | 3           | 4  | 5,25   | 1,71          | 3,00   | 7,00   |
|           | 4           | 4  | 7,25   | 1,71          | 5,00   | 9,00   |
|           | Total       | 16 | 10,06  | 4,46          | 3,00   | 17,00  |
| Zinco     | 1           | 4  | 115,00 | 7,35          | 106,00 | 121,00 |
|           | 2           | 4  | 127,00 | 5,29          | 120,00 | 132,00 |
|           | 3           | 4  | 77,25  | 13,33         | 65,00  | 92,00  |
|           | 4           | 4  | 79,25  | 6,90          | 69,00  | 84,00  |
|           | Total       | 16 | 99,63  | 23,84         | 65,00  | 132,00 |
| Manganês  | 1           | 4  | 335,00 | 23,80         | 300,00 | 350,00 |
|           | 2           | 4  | 367,50 | 26,30         | 330,00 | 390,00 |
|           | 3           | 4  | 130,00 | 8,16          | 120,00 | 140,00 |
|           | 4           | 4  | 182,50 | 5,00          | 180,00 | 190,00 |
|           | Total       | 16 | 253,75 | 104,49        | 120,00 | 390,00 |
| Ferro     | 1           | 4  | 477,50 | 81,80         | 430,00 | 600,00 |
|           | 2           | 4  | 367,50 | 106,26        | 210,00 | 440,00 |
|           | 3           | 4  | 200,00 | 61,64         | 120,00 | 270,00 |
|           | 4           | 4  | 175,00 | 19,15         | 160,00 | 200,00 |
|           | Total       | 16 | 305,00 | 144,41        | 120,00 | 600,00 |

Continuação...

| Variáveis | Tratamentos | N  | Média  | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo |
|-----------|-------------|----|--------|---------------|--------|--------|
| Boro      | 1           | 4  | 86,00  | 14,49         | 67,00  | 100,00 |
|           | 2           | 4  | 95,75  | 14,06         | 82,00  | 114,00 |
|           | 3           | 4  | 102,75 | 25,63         | 74,00  | 135,00 |
|           | 4           | 4  | 54,25  | 5,85          | 47,00  | 59,00  |
|           | Total       | 16 | 84,69  | 24,23         | 47,00  | 135,00 |
| Sódio     | 1           | 4  | 5,00   | 2,58          | 2,00   | 8,00   |
|           | 2           | 4  | 44,50  | 10,15         | 37,00  | 59,00  |
|           | 3           | 4  | 31,75  | 8,66          | 20,00  | 40,00  |
|           | 4           | 4  | 14,50  | 4,80          | 8,00   | 19,00  |
|           | Total       | 16 | 23,94  | 17,03         | 2,00   | 59,00  |

## ANOVA

| Variáveis               | F       | Sig.  |
|-------------------------|---------|-------|
| MFPA                    | 58,461  | 0,000 |
| MSPA                    | 38,510  | 0,000 |
| MFR                     | 38,040  | 0,000 |
| MSR                     | 25,417  | 0,000 |
| Coliformes totais       | 0,915   | 0,439 |
| <i>Escherichia coli</i> | 2,527   | 0,067 |
| Nitrogênio              | 1,093   | 0,390 |
| Fósforo                 | 13,953  | 0,000 |
| Potássio                | 1,473   | 0,271 |
| Magnésio                | 8,636   | 0,003 |
| Cálcio                  | 10,645  | 0,001 |
| Enxofre                 | 2,926   | 0,077 |
| Cobre                   | 18,885  | 0,000 |
| Zinco                   | 33,017  | 0,000 |
| Manganês                | 157,753 | 0,000 |
| Ferro                   | 14,829  | 0,000 |
| Boro                    | 6,683   | 0,007 |
| Sódio                   | 23,934  | 0,000 |

**Anexo B - Resultados das análises realizadas nas alfices cultivadas no período de inverno seguidos da análise de variância**

| Variáveis         | Tratamentos | N  | Média    | Desvio Padrão | Mínimo   | Máximo   |
|-------------------|-------------|----|----------|---------------|----------|----------|
| MFPA              | 1           | 16 | 121,88   | 27,82         | 71,00    | 180,00   |
|                   | 2           | 16 | 129,56   | 37,72         | 76,00    | 198,00   |
|                   | 3           | 16 | 31,50    | 9,44          | 11,00    | 45,00    |
|                   | 4           | 16 | 108,25   | 29,56         | 68,00    | 182,00   |
|                   | Total       | 64 | 97,80    | 47,96         | 11,00    | 198,00   |
| MSPA              | 1           | 15 | 4,82     | 1,05          | 3,05     | 7,16     |
|                   | 2           | 11 | 5,18     | 2,29          | 1,78     | 8,95     |
|                   | 3           | 12 | 1,68     | 0,55          | 0,66     | 2,45     |
|                   | 4           | 12 | 4,23     | 1,70          | 2,16     | 7,41     |
|                   | Total       | 50 | 4,00     | 1,99          | 0,66     | 8,95     |
| MFR               | 1           | 16 | 17,71    | 3,29          | 13,37    | 23,00    |
|                   | 2           | 16 | 28,94    | 9,64          | 16,40    | 46,84    |
|                   | 3           | 16 | 9,88     | 1,33          | 7,28     | 12,52    |
|                   | 4           | 16 | 16,46    | 5,21          | 9,92     | 27,96    |
|                   | Total       | 64 | 18,25    | 8,90          | 7,28     | 46,84    |
| MSR               | 1           | 16 | 0,70     | 0,13          | 0,44     | 0,94     |
|                   | 2           | 16 | 1,44     | 0,52          | 0,77     | 2,36     |
|                   | 3           | 16 | 0,46     | 8,22E-02      | 0,30     | 0,58     |
|                   | 4           | 16 | 0,62     | 0,19          | 0,38     | 1,10     |
|                   | Total       | 64 | 0,80     | 0,47          | 0,30     | 2,36     |
| Coliformes totais | 1           | 16 | 9,21E+00 | 1,56E+01      | 0,00E+00 | 6,30E+01 |
|                   | 2           | 15 | 1,22E+01 | 1,11E+01      | 0,00E+00 | 3,10E+01 |
|                   | 3           | 16 | 2,32E+01 | 2,86E+01      | 2,70E+00 | 8,90E+01 |
|                   | 4           | 15 | 3,42E+01 | 6,79E+01      | 0,00E+00 | 2,50E+02 |
|                   | Total       | 62 | 1,96E+01 | 3,80E+01      | 0,00E+00 | 2,50E+02 |
| <i>E. coli</i>    | 1           | 16 | 2,73E+00 | 2,77E+00      | 0,00E+00 | 8,80E+00 |
|                   | 2           | 16 | 4,70E+00 | 8,26E+00      | 0,00E+00 | 3,50E+01 |
|                   | 3           | 16 | 2,28E+00 | 1,65E+00      | 9,00E-01 | 5,50E+00 |
|                   | 4           | 16 | 3,79E+00 | 3,44E+00      | 0,00E+00 | 1,30E+01 |
|                   | Total       | 64 | 3,38E+00 | 4,74E+00      | 0,00E+00 | 3,50E+01 |
| Nitrogênio        | 1           | 4  | 46,75    | 5,68          | 39,00    | 51,00    |
|                   | 2           | 4  | 49,00    | 1,83          | 47,00    | 51,00    |
|                   | 3           | 4  | 46,00    | 5,48          | 38,00    | 50,00    |
|                   | 4           | 4  | 50,50    | 2,38          | 48,00    | 53,00    |
|                   | Total       | 16 | 48,06    | 4,20          | 38,00    | 53,00    |
| Fósforo           | 1           | 4  | 9,13     | 0,61          | 8,40     | 9,90     |
|                   | 2           | 4  | 8,33     | 0,98          | 7,50     | 9,60     |
|                   | 3           | 4  | 6,78     | 0,69          | 6,00     | 7,60     |
|                   | 4           | 4  | 8,38     | 1,63          | 6,00     | 9,50     |
|                   | Total       | 16 | 8,15     | 1,29          | 6,00     | 9,90     |

Continuação...

| Variáveis | Tratamentos | N  | Média  | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo |
|-----------|-------------|----|--------|---------------|--------|--------|
| Potássio  | 1           | 4  | 98,38  | 7,11          | 90,00  | 105,00 |
|           | 2           | 4  | 70,00  | 18,78         | 53,50  | 97,00  |
|           | 3           | 4  | 74,13  | 5,11          | 68,00  | 80,00  |
|           | 4           | 4  | 88,63  | 18,91         | 63,00  | 108,50 |
|           | Total       | 16 | 82,78  | 17,17         | 53,50  | 108,50 |
| Magnésio  | 1           | 4  | 4,18   | 0,24          | 4,00   | 4,50   |
|           | 2           | 4  | 4,13   | 0,25          | 4,00   | 4,50   |
|           | 3           | 4  | 3,13   | 0,25          | 3,00   | 3,50   |
|           | 4           | 4  | 3,38   | 0,25          | 3,00   | 3,50   |
|           | Total       | 16 | 3,70   | 0,52          | 3,00   | 4,50   |
| Cálcio    | 1           | 4  | 15,00  | 0,71          | 14,50  | 16,00  |
|           | 2           | 4  | 12,13  | 0,48          | 11,50  | 12,50  |
|           | 3           | 4  | 14,50  | 0,58          | 14,00  | 15,00  |
|           | 4           | 4  | 16,13  | 1,84          | 14,00  | 18,50  |
|           | Total       | 16 | 14,44  | 1,78          | 11,50  | 18,50  |
| Enxofre   | 1           | 4  | 3,40   | 0,14          | 3,20   | 3,50   |
|           | 2           | 4  | 3,08   | 9,57E-02      | 3,00   | 3,20   |
|           | 3           | 4  | 3,60   | 1,87          | 2,60   | 6,40   |
|           | 4           | 4  | 2,55   | 0,21          | 2,30   | 2,80   |
|           | Total       | 16 | 3,16   | 0,94          | 2,30   | 6,40   |
| Cobre     | 1           | 4  | 11,75  | 1,26          | 10,00  | 13,00  |
|           | 2           | 4  | 9,50   | 1,29          | 8,00   | 11,00  |
|           | 3           | 4  | 5,50   | 1,29          | 4,00   | 7,00   |
|           | 4           | 4  | 6,00   | 2,16          | 4,00   | 9,00   |
|           | Total       | 16 | 8,19   | 2,99          | 4,00   | 13,00  |
| Zinco     | 1           | 4  | 88,75  | 1,89          | 86,00  | 90,00  |
|           | 2           | 4  | 90,00  | 2,94          | 87,00  | 93,00  |
|           | 3           | 4  | 77,25  | 3,59          | 72,00  | 80,00  |
|           | 4           | 4  | 108,00 | 7,16          | 100,00 | 115,00 |
|           | Total       | 16 | 91,00  | 12,02         | 72,00  | 115,00 |
| Manganês  | 1           | 4  | 250,00 | 8,16          | 240,00 | 260,00 |
|           | 2           | 4  | 235,00 | 5,77          | 230,00 | 240,00 |
|           | 3           | 4  | 147,50 | 20,62         | 130,00 | 170,00 |
|           | 4           | 4  | 185,00 | 23,80         | 160,00 | 210,00 |
|           | Total       | 16 | 204,38 | 44,57         | 130,00 | 260,00 |
| Ferro     | 1           | 4  | 230,00 | 50,99         | 180,00 | 300,00 |
|           | 2           | 4  | 210,00 | 24,49         | 180,00 | 240,00 |
|           | 3           | 4  | 185,00 | 12,91         | 170,00 | 200,00 |
|           | 4           | 4  | 175,00 | 45,09         | 110,00 | 210,00 |
|           | Total       | 16 | 200,00 | 39,67         | 110,00 | 300,00 |

Continuação...

| Variáveis | Tratamentos | N  | Média | Desvio Padrão | Mínimo | Máximo |
|-----------|-------------|----|-------|---------------|--------|--------|
| Boro      | 1           | 4  | 53,05 | 3,11          | 49,00  | 56,00  |
|           | 2           | 4  | 42,65 | 3,24          | 39,00  | 46,00  |
|           | 3           | 4  | 40,39 | 7,40          | 34,00  | 50,00  |
|           | 4           | 4  | 51,25 | 19,05         | 29,00  | 74,00  |
|           | Total       | 16 | 46,84 | 10,90         | 29,00  | 74,00  |
| Sódio     | 1           | 4  | 2,25  | 0,50          | 2,00   | 3,00   |
|           | 2           | 4  | 28,75 | 2,22          | 26,00  | 31,00  |
|           | 3           | 4  | 26,25 | 3,20          | 23,00  | 29,00  |
|           | 4           | 4  | 19,25 | 6,29          | 13,00  | 28,00  |
|           | Total       | 16 | 19,13 | 11,19         | 2,00   | 31,00  |

## ANOVA

| Variáveis         | F      | Sig.  |
|-------------------|--------|-------|
| MFPA              | 41,145 | 0,000 |
| MSPA              | 13,539 | 0,000 |
| MFR               | 30,220 | 0,000 |
| MSR               | 37,141 | 0,000 |
| Coliformes totais | 1,401  | 0,252 |
| <i>E. coli</i>    | 0,834  | 0,480 |
| Nitrogênio        | 0,958  | 0,444 |
| Fósforo           | 3,477  | 0,051 |
| Potássio          | 3,496  | 0,050 |
| Magnésio          | 18,466 | 0,000 |
| Cálcio            | 10,187 | 0,001 |
| Enxofre           | 0,943  | 0,450 |
| Cobre             | 14,704 | 0,000 |
| Zinco             | 33,752 | 0,000 |
| Manganês          | 32,389 | 0,000 |
| Ferro             | 1,827  | 0,196 |
| Boro              | 1,427  | 0,283 |
| Sódio             | 41,521 | 0,000 |

## Anexo C - Resultados das análises realizadas nas plantas de feijão seguidos da análise de variância

### Parâmetros Agronômicos

|             |        | Valores médios dos parâmetros agronômicos |            |            |            |                |
|-------------|--------|---|------------|------------|------------|----------------|
| Tratamentos | Blocos | PFFPA<br>(g)                              | PFR<br>(g) | PSF<br>(g) | PSR<br>(g) | Altura<br>(cm) |
| 1           | 1      | 10,65                                     | 2,56       | 1,79       | 1,98       | 18,90          |
| 1           | 2      | 10,76                                     | 2,33       | 1,80       | 1,48       | 18,32          |
| 1           | 3      | 13,37                                     | 2,63       | 2,20       | 1,70       | 21,82          |
| 1           | 4      | 10,62                                     | 3,51       | 1,94       | 2,53       | 16,80          |
| 2           | 1      | 8,27                                      | 1,54       | 1,58       | 1,23       | 16,22          |
| 2           | 2      | 10,79                                     | 2,87       | 1,83       | 1,57       | 18,78          |
| 2           | 3      | 12,80                                     | 4,31       | 2,25       | 1,99       | 22,92          |
| 2           | 4      | 10,28                                     | -          | 1,96       | -          | 19,54          |
| 3           | 1      | 12,38                                     | 1,99       | 2,13       | 1,61       | 18,82          |
| 3           | 2      | 8,90                                      | 3,92       | 1,53       | 1,85       | 16,76          |
| 3           | 3      | 14,04                                     | 3,23       | 2,03       | 1,91       | 22,36          |
| 3           | 4      | 9,10                                      | 1,97       | 1,50       | 1,45       | 15,38          |
| 4           | 1      | 9,23                                      | 2,17       | 1,68       | 1,52       | 14,35          |
| 4           | 2      | 10,54                                     | 2,12       | 1,96       | 1,69       | 20,54          |
| 4           | 3      | 11,76                                     | 5,37       | 2,28       | 1,51       | 19,66          |
| 4           | 4      | 9,64                                      | 2,27       | 1,82       | 1,76       | 17,06          |
| 5           | 1      | 10,53                                     | 2,62       | 1,84       | 1,99       | 17,30          |
| 5           | 2      | 7,86                                      | 3,66       | 1,52       | 1,91       | 15,60          |
| 5           | 3      | 11,96                                     | 1,62       | 2,31       | 1,43       | 21,24          |
| 5           | 4      | 12,01                                     | 2,68       | 2,00       | 1,70       | 18,56          |

### Macronutrientes

|             |        | Valores médios dos macronutrientes |               |               |                |                |               |
|-------------|--------|------------------------------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|
| Tratamentos | Blocos | N<br>(dag/Kg)                      | P<br>(dag/Kg) | K<br>(dag/Kg) | Mg<br>(dag/Kg) | Ca<br>(dag/Kg) | S<br>(dag/Kg) |
| 1           | 1      | 2,82                               | 0,12          | 2,84          | 0,37           | 2,41           | 0,23          |
| 1           | 2      | 2,50                               | 0,12          | 3,17          | 0,36           | 2,30           | 0,25          |
| 1           | 3      | 2,44                               | 0,11          | 3,41          | 0,38           | 2,32           | 0,33          |
| 1           | 4      | 3,16                               | 0,11          | 3,05          | 0,38           | 2,26           | 0,28          |
| 2           | 1      | 2,70                               | 0,12          | 2,81          | 0,36           | 2,16           | 0,27          |
| 2           | 2      | 2,52                               | 0,12          | 2,68          | 0,31           | 1,92           | 0,23          |
| 2           | 3      | 2,58                               | 0,16          | 3,36          | 0,39           | 2,37           | 0,31          |
| 2           | 4      | 3,10                               | 0,10          | 3,01          | 0,33           | 2,30           | 0,25          |
| 3           | 1      | 2,85                               | 0,10          | 2,49          | 0,33           | 2,07           | 0,26          |
| 3           | 2      | 2,72                               | 0,13          | 3,59          | 0,39           | 2,44           | 0,29          |
| 3           | 3      | 2,46                               | 0,14          | 3,04          | 0,37           | 2,13           | 0,28          |
| 3           | 4      | 3,86                               | 0,10          | 2,87          | 0,35           | 2,50           | 0,24          |
| 4           | 1      | 4,00                               | 0,11          | 2,80          | 0,34           | 1,90           | 0,25          |
| 4           | 2      | 2,64                               | 0,13          | 3,42          | 0,37           | 2,24           | 0,25          |
| 4           | 3      | 2,50                               | 0,11          | 3,01          | 0,39           | 2,32           | 0,29          |
| 4           | 4      | 3,50                               | 0,10          | 3,00          | 0,31           | 2,35           | 0,21          |
| 5           | 1      | 3,42                               | 0,09          | 2,41          | 0,32           | 1,85           | 0,26          |
| 5           | 2      | 3,46                               | 0,13          | 3,15          | 0,39           | 2,48           | 0,26          |
| 5           | 3      | 3,52                               | 0,12          | 2,66          | 0,37           | 2,30           | 0,21          |
| 5           | 4      | 4,00                               | 0,07          | 2,37          | 0,23           | 2,27           | 0,22          |

### Micronutrientes

|             |        | Valores médios dos micronutrientes |               |               |               |              |               |
|-------------|--------|------------------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------|---------------|
| Tratamentos | Blocos | Cu<br>(mg/Kg)                      | Zn<br>(mg/Kg) | Mn<br>(mg/Kg) | Fe<br>(mg/Kg) | B<br>(mg/Kg) | Na<br>(mg/Kg) |
| 1           | 1      | 3                                  | 21            | 30            | 210           | 42           | 2             |
| 1           | 2      | 4                                  | 20            | 22            | 254           | 42           | 3             |
| 1           | 3      | 5                                  | 21            | 24            | 154           | 60           | 1             |
| 1           | 4      | 5                                  | 17            | 26            | 132           | 64           | 1             |
| 2           | 1      | 3                                  | 20            | 30            | 182           | 52           | 2             |
| 2           | 2      | 3                                  | 21            | 24            | 188           | 60           | 3             |
| 2           | 3      | 5                                  | 21            | 24            | 168           | 55           | 2             |
| 2           | 4      | 3                                  | 19            | 24            | 100           | 55           | 2             |
| 3           | 1      | 4                                  | 18            | 26            | 226           | 54           | 3             |
| 3           | 2      | 4                                  | 23            | 36            | 258           | 55           | 1             |
| 3           | 3      | 5                                  | 19            | 16            | 124           | 53           | 1             |
| 3           | 4      | 3                                  | 18            | 24            | 112           | 54           | 2             |
| 4           | 1      | 4                                  | 23            | 28            | 588           | 57           | 6             |
| 4           | 2      | 4                                  | 22            | 28            | 164           | 57           | 2             |
| 4           | 3      | 5                                  | 20            | 20            | 126           | 57           | 2             |
| 4           | 4      | 2                                  | 16            | 24            | 212           | 48           | 6             |
| 5           | 1      | 3                                  | 22            | 32            | 232           | 65           | 4             |
| 5           | 2      | 5                                  | 23            | 34            | 178           | 50           | 2             |
| 5           | 3      | 5                                  | 24            | 34            | 306           | 58           | 3             |
| 5           | 4      | 3                                  | 13            | 16            | 96            | 60           | 4             |

## ANOVA

| Variáveis   | Média  | Desvio<br>Padrão | F    | Sig. |
|-------------|--------|------------------|------|------|
| MFPA (g)    | 10,77  | 1,67             | 0,41 | ***  |
| MFR (g)     | 2,81   | 0,96             | 0,06 | ***  |
| MSPA (g)    | 1,90   | 0,26             | 0,32 | ***  |
| MSR (g)     | 1,73   | 0,29             | 0,53 | ***  |
| Altura (cm) | 18,55  | 2,40             | 0,43 | ***  |
| N (dag/Kg)  | 3,04   | 0,54             | 5,19 | 0,01 |
| P (dag/Kg)  | 0,11   | 0,02             | 1,27 | 0,34 |
| K (dag/Kg)  | 2,96   | 0,34             | 2,02 | 0,16 |
| Mg (dag/Kg) | 0,35   | 0,04             | 0,90 | ***  |
| Ca (dag/Kg) | 2,24   | 0,19             | 0,38 | ***  |
| S (dag/Kg)  | 0,26   | 0,03             | 0,92 | ***  |
| Cu (mg/Kg)  | 3,90   | 0,97             | 0,58 | ***  |
| Zn (mg/Kg)  | 20,05  | 2,70             | 0,15 | ***  |
| Mn (mg/Kg)  | 26,10  | 5,52             | 0,35 | ***  |
| Fe (mg/Kg)  | 200,50 | 107,56           | 0,72 | ***  |
| B (mg/Kg)   | 54,90  | 6,09             | 0,44 | ***  |
| Na (mg/Kg)  | 2,60   | 1,47             | 2,79 | 0,08 |



# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)