

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL - SANEAMENTO AMBIENTAL**

MAYARA CARANTINO COSTA

**AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS SANITÁRIOS, AGRONÔMICOS E DE QUALIDADE
EM MELANCIAS IRRIGADAS COM ESGOTO TRATADO**

**FORTALEZA-CE
2006**

MAYARA CARANTINO COSTA

**AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS SANITÁRIOS, AGRONÔMICOS E DE QUALIDADE
EM MELANCIAS IRRIGADAS COM ESGOTO TRATADO**

Dissertação apresentada à Coordenação do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, na área de concentração em Saneamento Ambiental, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Professor Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota

Co-orientador: Professor Dr. André Bezerra dos Santos

FORTALEZA-CE
2006

MAYARA CARANTINO COSTA

**AVALIAÇÃO DOS ASPECTOS SANITÁRIOS, AGRONÔMICOS E DE QUALIDADE
EM MELANCIAS IRRIGADAS COM ESGOTO TRATADO**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, área de concentração em Saneamento Ambiental, outorgada pela Universidade Federal do Ceará, em cuja biblioteca de Pós-Graduação do Centro de Tecnologia encontra-se à disposição dos interessados.

A citação de qualquer trecho desta dissertação é permitida, desde que seja feita em conformidade com as normas da ética científica.

Mayara Carantino Costa

Dissertação defendida e aprovada em 28 / 07/ 2006 pela banca julgadora:

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. André Bezerra dos Santos
Universidade Federal do Ceará – UFC

Prof. Dr. José Carlos de Araújo
Universidade Federal do Ceará - UFC

Dra. Terezinha Feitosa Machado
Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias – EMBRAPA Agroindústria Tropical

Dedico à minha família e aos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, em primeiro lugar.

Aos meus pais, pelo apoio e incentivo.

Aos meus irmãos, pelo incentivo constante.

Ao Prof. Dr. Suetônio Mota, pela orientação necessária à realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. André Bezerra dos Santos, por ter sido tão prestativo e pelo apoio.

À minha amiga Maria Ionete Chaves Nogueira, pela ajuda na conclusão do trabalho.

À Juliana de Lima Rego e Edglerdânia Luzia Lima de Oliveira, pela parceria durante os trabalhos de campo.

Aos colegas do curso de Mestrado, pelo incentivo e a agradável convivência.

À CAGECE e aos programas PROSAB e CT-Hidro, pelo apoio financeiro.

Ao CNPQ, pela bolsa de estudo concedida.

RESUMO

Investigou-se o reúso de esgoto sanitário tratado na irrigação da cultura da melancia, variedade *Crimson Sweet*, tanto relacionado aos aspectos sanitários como também à produtividade e à qualidade do produto final. O estudo foi realizado no Centro de Pesquisa sobre Tratamento de Esgoto e Reúso de Águas da Companhia de Água e Esgoto do Ceará em Aquiraz-CE. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com quatro repetições e quatro tratamentos: T1 - água do poço mais adubação; T2 - efluente mais adubação; T3 - efluente e T4 - efluente mais a metade da adubação. As águas de irrigação utilizadas (água de poço e efluente de lagoas de estabilização) foram caracterizadas sob os aspectos físico-químicos e microbiológicos, em que ambas estavam dentro dos limites estabelecidos pela OMS para irrigação irrestrita. Os métodos de irrigação por gotejamento e sulco foram comparados para a verificação do mais indicado para o reúso com efluentes na cultura da melancia. Por meio de análise dos dados de produtividade da cultura observou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos na irrigação por gotejamento, sendo que os melhores resultados foram obtidos nos tratamentos T1 e T2. Para o sistema de sulco, não foram obtidas produtividades satisfatórias. O estudo indicou que houve diferença significativa entre os tratamentos em relação às características físico-químicas dos frutos produzidos, contudo, não houve comprometimento da qualidade microbiológica dos mesmos em nenhum dos tratamentos avaliados. Em relação às características sensoriais observou-se, que somente as amostras que receberam o tratamento T2 (irrigação com efluente mais adubação) não apresentaram sabor diferente, significativo ao nível de 5%, quando comparadas àquelas submetidas ao tratamento controle (T1), e que os sistemas de irrigação, sulco e gotejo, podem ser utilizados, indiferentemente, sem comprometer o sabor dos frutos produzidos.

ABSTRACT

The reuse of treated sewage on watermelon irrigation, variety *Crimson Sweet*, was investigated not only considering the sanitary aspects but also the productivity and final product quality. The experiment was conducted in the Research Centre on Wastewater Treatment and Reuse, owned by the Company of Water and Wastewater of Ceará, in Aquiraz-CE. The experimental delimitation was randomized blocks, with four repetitions and four treatments: raw water and soil fertilization (T1); treated wastewater and soil fertilization (T2); treated wastewater without external soil fertilization (T3); and treated wastewater and half of soil fertilization (T4). The irrigation waters used (raw water and effluent of a stabilization pond) were characterized by the physical-chemical and microbiological aspects. Both waters were in the limits normalized by the World Health Organization (WHO) for unrestricted irrigation. The irrigation methods drip and furrow were compared in verifying of which one is more suitable for effluent reuse on watermelon production. The productivity data indicated that there was no significant difference among the treatments on drip irrigation, where the biggest productivities were obtained on T1 and T2 treatments. For the furrow system, no satisfactory productivity was achieved. The study revealed a significant difference among the treatments regarding the physical-chemical characteristics of the fruits. However, the microbiological quality was never compromised. Sensorial tests revealed that only the treatment T2 (treated wastewater and soil fertilization) did not present a different flavour, significant on 5% level, compared to the treatment T1 (control), and that the irrigation systems drip and furrow could be indifferently used without compromising the product flavour.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – Diagrama de classificação do reúso.	47
FIGURA 2 – Localização do município de Aquiraz no Estado do Ceará (A) e na RMF (B).....	60
FIGURA 3 - <i>Layout</i> do Centro Experimental de Reúso em Irrigação e Piscicultura. Especial atenção para os sistemas 4 (gotejamento) e 6 (sulco), focos da presente dissertação.	61
FIGURA 4 - Distribuição espacial da área experimento da melancia irrigada por gotejamento.....	63
FIGURA 5 - Distribuição espacial da área experimento da melancia irrigada por sulco.....	63
FIGURA 6 – Ficha sensorial utilizada para o teste de diferença do controle.	76
FIGURA 7 – Ficha utilizada para o teste triangular.	76
FIGURA 8 – Valores do somatório dos pesos dos frutos da melancia irrigada por gotejamento nos quatro tratamentos testados. Aquiraz, Ceará, 2005.....	88
FIGURA 9 - Valores de Grau Brix da melancia irrigada por gotejo. Aquiraz, Ceará, 2005.....	89
FIGURA 10 – Valores médios dos comprimentos dos frutos (melancia) irrigados por gotejamento para cada tratamento. Aquiraz, Ceará, 2005.....	90
FIGURA 11 – Valores médios dos diâmetros dos frutos (melancia) irrigados por gotejamento para cada tratamento. Aquiraz, Ceará, 2005.....	91
FIGURA 12 – Valores médios dos diâmetros da polpa dos frutos (melancia) irrigados por gotejamento para cada tratamento. Aquiraz, Ceará, 2005.....	91

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – Níveis de Tratamento dos esgotos	19
TABELA 2 – Comparação entre as eficiências dos sistemas de tratamento citadas na literatura e as verificadas no estudo	22
TABELA 3 – Comparação entre os tipos de lagoas de estabilização	29
TABELA 4 – Desempenho de um sistema de lagoas de estabilização em série no Nordeste do Brasil (temperatura 26°C).	30
TABELA 5 – Fatores que afetam a escolha do processo de irrigação e as medidas protetivas requeridas quando se utilizam esgotos.....	33
TABELA 6 – Diretrizes microbiológicas recomendadas para uso de esgotos na agricultura.....	42
TABELA 7 –Exemplo de países que utilizam o efluente de esgotos para uso agrícola.	49
TABELA 8 – Dimensões das lagoas de estabilização do sistema de lagoas de Aquiraz, Ceará.	66
TABELA 9 – Características das estações e bombeamento do centro de pesquisa de Aquiraz, Ceará.	67
TABELA 10 - Valores médios dos principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água e do efluente da última lagoa de maturação. Aquiraz, Ceará, 2005.	78
TABELA 11 – Resumo das análises de variância ao nível de 5% para as variáveis relacionadas com a cultura da melancia irrigada por gotejamento. Aquiraz, Ceará, 2005.	87
TABELA 12 - Características físico-química da polpa da melancia para os diferentes tratamentos e sistemas de irrigação. Aquiraz, Ceará, 2005.....	98
TABELA 13 – Características microbiológicas das melancias coletadas nos diferentes tratamentos. Aquiraz, Ceará, 2005.....	99
TABELA 14 - Avaliação da diferença de sabor entre as melancias irrigadas pelo método de sulco para os diferentes tratamentos. Aquiraz, Ceará, 2005.....	100
TABELA 15 - Avaliação da diferença de sabor entre as melancias irrigadas por gotejamento para os diferentes tratamentos. Aquiraz, Ceará, 2005.	100

LISTA DE FOTOS

FOTO 1 – Área do cultivo da melancia irrigada por gotejamento.....	65
FOTO 2 – Área do cultivo da melancia irrigada por sulco	65
FOTO 3 – Captação da água	67
FOTO 4 – Captação do Esgoto	68
FOTO 5 – Casa de Bomba e um dos Reservatórios (esgoto).....	68
FOTO 6 – Filtros instalados antes do reservatório de água.	69
FOTO 7 – Melancia do tratamento T1 na área irrigada por sulco	92
FOTO 8 – Melancia da área irrigada por gotejamento	93
FOTO 9 - Vista da área de irrigação da melancia por gotejamento	93
FOTO 10 – Melancia irrigada pelo tratamento T4 na área irrigada por gotejo.	94
FOTO 11 – Corte das melancias: irrigada por sulco (A) e irrigada por gotejo (B)	94

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA – Agência Nacional de Águas

CAGECE – Companhia de Água e Esgoto do Estado do Ceará

CONAMA – Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FUNCEME – Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos

IPLANCE – Instituto de Pesquisa e Informação do Estado do Ceará

OMS – Organização Mundial de Saúde

PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico

RAS – Relação de Adsorção de Sódio

RMF – Região Metropolitana de Fortaleza

TDH – Tempo de Detenção Hidráulica

UASB – Upflow Anaerobic Sludge Blanket

UFC – Unidade Formadora de Colônia

USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE TABELAS	8
LISTA DE FOTOS.....	9
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	10
1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos	16
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	17
3.1 Tratamento de esgotos sanitários	17
3.2 Lagoas de estabilização	23
3.2.1 Histórico	23
3.2.2 Conceitos	25
3.2.3 Classificação	27
3.3 Aspectos relacionados à irrigação de culturas com esgotos	30
3.3.1 Métodos de Irrigação.....	31
3.3.2 Irrigação por gotejamento.....	33
3.3.3 Irrigação por sulco	36
3.4 Aspectos relacionados ao uso de esgoto sanitário tratado na agricultura	38
3.4.1 Aspectos agronômicos e ambientais.....	39
3.4.2 Aspectos sanitários	40

3.5 Reúso de águas.....	44
3.5.1 Histórico	44
3.5.2 Classificação	45
3.6 Reúso na agricultura.....	48
3.6.1 Experiências no mundo	48
3.6.2 Reúso no Brasil	52
3.6.3 Culturas irrigadas com esgoto sanitário tratado	55
3.6.4 Cultura da Melancia	57
4. METODOLOGIA	59
4.1 Localização	59
4.2 Caracterização do local do experimento.....	60
4.3 Caracterização da área de plantio	62
4.4 Captação das águas de irrigação	66
4.5 Análises realizadas	69
4.5.1 Aspectos sanitários	69
4.5.2 Aspectos agronômicos	70
4.5.3 Qualidade do produto final	71
4.5.3.1 Caracterização microbiológica das amostras	71
4.5.3.1.1 Preparo das diluições.....	71
4.5.3.1.2 Determinação do número mais provável de coliformes totais e fecais....	71
4.5.3.1.3 Pesquisa de Salmonella.....	72
4.5.3.2 Caracterização físico-química das amostras	73
4.5.3.2.1 Determinação eletrométrica do pH.....	73
4.5.3.2.2 Determinação da acidez total.....	74

4.5.3.2.3 Determinação de graus brix por refratometria.....	74
4.5.3.3 Avaliação sensorial	74
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	77
5.1 Aspectos sanitários	77
5.1.1 Caracterização do efluente tratado e da água utilizados na irrigação	77
5.2 Aspectos agronômicos.....	86
5.2.1 Produtividade da cultura	86
5.3 Produto final	97
5.3.1 Caracterização microbiológica	97
5.3.2 Aspectos físico-químicos.....	98
5.3.3 Aspectos sensoriais	99
6. CONCLUSÕES	102
7. RECOMENDAÇÕES.....	104
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105

1. INTRODUÇÃO

Um dos problemas mais graves deste século é a crescente escassez de água. Este fato deve-se principalmente ao crescimento populacional aliado ao processo de urbanização, que tem provocado uma maior demanda de água para seus diversos fins, como limpeza de ruas, calçadas, praças e parques e lavagem de carros, dentre outros. Além dos aspectos quantitativos, a qualidade da água também constitui um problema, verificando-se uma constante deterioração dos mananciais em todo o mundo.

A agricultura irrigada é uma atividade que demanda uma grande quantidade de água, podendo corresponder a até 80% do consumo total numa região. Além de água, as plantas requerem macro e micronutrientes para seu perfeito desenvolvimento, os quais podem ser conseguidos através de aplicação de fertilizantes artificiais. O elevado custo destes produtos constitui, em muitos casos, uma situação problemática para os agricultores.

Sabe-se que os esgotos sanitários são normalmente ricos em matéria orgânica e nutrientes. Excessivas quantidades de nutrientes nos corpos d'água, provenientes dos esgotos lançados, promovem o crescimento excessivo de algas e plantas aquáticas, fenômeno denominado de eutrofização (von SPERLING, 2005). Segundo Mota (1997), o processo de eutrofização causa efeitos negativos aos corpos d'água; a proliferação excessiva de algas provoca uma redução na quantidade de oxigênio dissolvido na água, além de ter efeito no sabor, odor, toxidez (algumas algas excretam toxinas), turbidez e formação de lodo. A presença de plantas aquáticas confere prejuízos a alguns usos do corpo d'água, como navegação e recreação, além de impactos sobre a vida aquática e o assoreamento.

Segundo Avnimelech (1993), o reúso de efluentes em irrigação pode expor as pessoas a uma variedade de patógenos tais como bactérias, vírus, protozoários ou helmintos. A transmissão de doenças pode ocorrer através de contato físico com a água pelos agricultores, *spray* de aerossóis, consumo de produtos irrigados com efluentes e contato com águas subterrâneas e superficiais contaminadas.

Evitados os riscos à saúde, por meio de cuidados preventivos, a utilização de esgotos sanitários em irrigação constitui uma forma de preservar o meio ambiente, pois possibilita minimização das fontes de poluição dos corpos d'água, redução da demanda de água, que pode ser usada para usos mais nobres, e reciclagens de nutrientes. Ressalta-se que o reúso é uma prática que precisa ser planejada e controlada, de forma a evitar possíveis danos à saúde ou impactos negativos sobre o solo e as plantas.

Conforme Huibers (2002), o uso de esgoto tratado na agricultura não é restrito a climas áridos, embora a aridez e a conseqüente escassez de água seja um fator estimulante. Ele também não é restrito a países pobres. Países ricos procuram possibilidades para usar o esgoto com produtividade e segurança, de forma paralela a se reduzirem os altos custos com tratamentos de esgotos.

As preocupações com a saúde pública e com o ambiente requerem a multiplicação dos sistemas básicos de esgotamento sanitário e do seu tratamento. Tal fato possibilita o reconhecimento da irrigação como uma forma econômica e muito produtiva de destinação final de esgotos (CHERNICHARO, 2001).

Dentre as culturas irrigadas com esgoto, incluem-se os gramados de campos de desportos e áreas de recreação, as árvores de bosques, as forragens e os pastos, e também as culturas alimentícias para consumo humano direto, como legumes, verduras e frutas. Neste trabalho, utilizou-se esgoto sanitário tratado em lagoas de estabilização para irrigação da melancia, com o propósito de investigar os aspectos relacionados ao reúso para esta cultura.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Avaliar os aspectos sanitários, agronômicos e de qualidade em melancias irrigadas com esgoto tratado.

2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar a qualidade das águas de irrigação (água de poço e efluente), fazendo-se a sua caracterização físico-química e microbiológica.
- Acompanhar o desenvolvimento da cultura da melancia irrigada com esgoto doméstico tratado, quando comparado a um testemunho irrigado com água de poço, através de alguns parâmetros agronômicos.
- Analisar o efeito dos fertilizantes no desenvolvimento das plantas, comparando-se os dados de produtividade, para diversos tratamentos.
- Fazer comparações segundo a eficiência dos métodos de irrigação utilizados, sulco e gotejamento, analisando e apontando aquele de melhores resultados.
- Avaliar a qualidade microbiológica, físico-química e sensorial das melancias produzidas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Tratamento de esgotos sanitários

Devido ao impacto ambiental resultante do lançamento do esgoto no solo e nos corpos d'água, há uma constante preocupação de tratar os esgotos sanitários para que se evitem os danos causados pelos mesmos.

São muitos os benefícios obtidos com o tratamento de esgotos, podendo-se citar: melhoria das condições sanitárias locais; conservação dos recursos naturais; eliminação de focos de poluição e contaminação; eliminação de problemas estéticos desagradáveis, como cor e turbidez; redução de doenças de veiculação hídrica e conseqüente redução dos custos hospitalares e com medicamento, entre outros.

O esgoto não-tratado é um risco tanto para a saúde pública quanto para o meio ambiente. O aumento da produção de esgoto, originado do aumento populacional e da industrialização, juntos com a intensificação do conhecimento ambiental, tem resultado na aplicação de tratamento de esgoto para atender rigorosas leis de poluição de água e regulamentações em muitos países desenvolvidos (FEIGIN *et al.*, 1991).

O esgoto sanitário é constituído de 99,9% de água e 0,1% de sólidos totais (orgânicos e inorgânicos; suspensos e dissolvidos), além de diversos microrganismos, muitos deles patogênicos. A característica dos esgotos é função dos usos à qual a água foi submetida, sendo dependentes do clima, situação social e econômica, hábitos da população, dentre outros. (von SPERLING, 2005).

Segundo Feigin *et al.* (1991), o esgoto sanitário contém muitos microrganismos, como bactérias, fungos, vírus e protozoários. Muitos desses são eliminados durante os processos de tratamento biológico e desinfecção do efluente reciclado.

O tratamento de esgotos tem como objetivo a transformação da matéria orgânica em matéria inorgânica e, no caso reúso do efluente destinado à irrigação, à remoção dos organismos patogênicos. (BEZERRA, 1997).

Conforme Mancuso e Santos (2003), os critérios de tratamento de esgoto para reúso agrícola são distintos daqueles estabelecidos para a descarga de efluentes líquidos em corpos d'água. Para o reúso, é extremamente benéfico que os efluentes, após tratamento, contenham concentrações significativas de matéria orgânica e o máximo possível de nutrientes contidos no esgoto bruto.

Segundo von Sperling (2005) e Metcalf e Eddy (1991), o tratamento de esgotos é usualmente classificado através dos seguintes níveis:

- preliminar
- primário
- secundário
- terciário
- avançado

No tratamento preliminar são removidos os sólidos grosseiros, como trapos, barras, areia e gordura que causariam problemas na manutenção e operação do sistema de tratamento. O tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica. Em ambos predominam os mecanismos físicos de remoção de poluentes. Já no tratamento secundário, no qual predominam mecanismos biológicos, o objetivo principal é a remoção de matéria orgânica e eventualmente nutrientes (nitrogênio e fósforo). O tratamento terciário objetiva a remoção de poluentes específicos (usualmente tóxicos ou compostos não biodegradáveis) ou ainda, a remoção complementar de poluentes não suficientemente removidos no tratamento secundário. O tratamento terciário é bastante raro no Brasil. O tratamento avançado consiste na remoção de materiais dissolvidos e em suspensão remanescentes no esgoto após o tratamento biológico normal quando requerido para várias aplicações de reúso da água, sendo também bastante raro no Brasil. A Tabela 1 sumariza os diversos níveis de tratamento de esgoto.

TABELA 1 – Níveis de Tratamento dos esgotos

Nível	Remoção
Preliminar	- Sólidos grosseiros
Primário	- Sólidos em suspensão sedimentáveis - DBO em suspensão (matéria orgânica componente dos sólidos em suspensão sedimentáveis)
Secundário	- DBO em suspensão (matéria orgânica em suspensão fina, não removida no tratamento primário). - DBO solúvel (matéria orgânica na forma de sólidos dissolvidos).
Terciário	- Nutrientes - Patogênicos - Compostos não biodegradáveis - Metais pesados - Sólidos inorgânicos dissolvidos - Sólidos em suspensão remanescentes
Avançado	- Materiais em suspensão remanescentes - Materiais dissolvidos remanescentes

Nota: a remoção de nutrientes (por processos biológicos) e de patogênicos pode ser considerada como integrante do tratamento secundário, dependendo da concepção de tratamento local.

Fonte: Adaptado de von Sperling (2005)

Entre os tratamentos de esgotos pesquisados com vista ao reúso, têm-se:

- Reator UASB seguido de lagoa de polimento
- Reator UASB seguido de lodos ativados
- Lagoas de estabilização

O estudo realizado por Sousa *et al.* (2005b) avaliou o desempenho de cinco lagoas de polimento em escala piloto, pós-tratando o efluente de um reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (reator UASB), objetivando utilizar o efluente final na irrigação. O reator UASB foi operado com tempo de detenção hidráulica (TDH) de seis horas e sem descarte intencional de lodo, enquanto cada lagoa foi operada com TDH de três dias. O desempenho do sistema foi avaliado quanto à remoção de matéria orgânica, estabilidade operacional, remoção de macronutrientes e qualidade higiênica. O efluente produzido na última lagoa apresentou boa qualidade higiênica, concentração

de coliformes termotolerantes < 1000 UFC/100mL e ausência de helmintos. No entanto, devido a abundante presença de algas, foi detectada uma elevada concentração de matéria orgânica expressa na forma de DQO. Houve também uma expressiva remoção de nitrogênio e fósforo, fornecendo efluente com baixas concentrações de nutrientes.

É importante salientar que nem sempre é conveniente remover os nutrientes do esgoto. A remoção destes só é vantajosa quando o efluente é lançado em águas de superfície. Neste caso, é importante reduzir ao máximo o teor de nutrientes para evitar o processo de eutrofização. No caso de se usar o efluente em irrigação, acontece o contrário. Há um interesse de se conservá-los, uma vez que estes poderão substituir os nutrientes de fertilizantes químicos (CHERNICHARO, 2001).

A principal vantagem do uso da combinação reator UASB seguido de lagoa de polimento é a redução da área necessária, em comparação com o sistema convencional de lagoas de estabilização. Outra vantagem deste sistema é a solução do problema operacional mais sério das lagoas anaeróbias, qual seja, o odor que se gera e que se espalha nas redondezas, devido a presença de sulfetos na fase líquida. Neste sistema, uma parte do sulfeto é removida junto com o biogás como gás sulfídrico, mas este biogás é capturado e queimado, transformando o sulfeto em sulfato, que é inodoro. No caso de águas residuárias diluídas como o esgoto sanitário, que produzem pouco biogás, a maior parte do sulfeto, na verdade, permanece na fase líquida e, nas lagoas de polimento, deve ser oxidado pelo oxigênio gerado no processo de fotossíntese (CHERNICHARO, 2001).

O sistema de lodos ativados pode ser de fluxo contínuo (líquido entrando e saindo continuamente do reator de lodos ativados) ou de fluxo intermitente ou batelada (entrada do líquido descontínua em cada reator de lodos ativados). O sistema de lodos ativados é constituído por um decantador primário, reator e decantador secundário. Esse sistema de tratamento de esgotos tem sido usado como pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios tipo UASB. Neste caso, ao invés de se ter o decantador primário tem-se o reator anaeróbio. (CHERNICHARO, 2001).

Conforme Feigin *et al.* (1991), o tratamento biológico e desinfecção reduzem drasticamente o número de coliformes fecais a um nível aceitável para água de irrigação. Mancuso e Santos (2003) acrescentam que a remoção de helmintos dos

esgotos não pode ser atendida por sistemas convencionais de tratamento, tais como os sistemas de lodos ativados, filtros biológicos ou desinfecção. Neste caso a tecnologia mais adequada, em países de clima predominantemente quente, como o Brasil, para tratamento de esgotos para uso agrícola são as lagoas de estabilização.

A Agência Nacional de Águas (ANA) solicitou, recentemente, um diagnóstico de alguns dos sistemas de tratamento de esgotos existentes no Brasil. Na Tabela 2 é mostrada uma comparação entre as eficiências dos sistemas de tratamento de esgotos citadas na literatura e as verificadas neste estudo.

TABELA 2 – Comparação entre as eficiências dos sistemas de tratamento citadas na literatura e as verificadas no estudo

Constituinte	Faixas	FS + FA	LF	LAN + LF	LA	UASB	UASB + POS
DBO (%)	Literatura	80 a 85	75 a 85	75 a 85	85 a 97	60 a 75	75 a 93
	Reais	36 a 82	65 a 84	73 a 88	74 a 96	65 a 79	85 a 92
DQO (%)	Literatura	70 a 80	65 a 80	65 a 80	80 a 93	55 a 70	65 a 90
	Reais	18 a 78	40 a 72	65 a 78	62 a 93	44 a 77	64 a 86
SST (%)	Literatura	80 a 90	70 a 80	70 a 80	87 a 93	65 a 80	70 a 97
	Reais	39 a 86	23 a 69	35 a 78	53 a 95	57 a 81	71 a 92
NT (%)	Literatura	< 60	< 60	< 60	< 60	< 60	30 a 65
	Reais	3 a 39	34 a 58	26 a 60	20 a 78	-19 a -6	-
PT (%)	Literatura	< 35	< 35	< 35	< 35	< 35	35 a 88
	Reais	-27 a 45	32 a 63	20 a 50	35 a 55	-21 a 16	-8 a 49
CF (unid. log removidas)	Literatura	0,5 a 1,5	1 a 2	1 a 2	1 a 2	0,5 a 1,5	1 a 5
	Reais	0,5 a 1,8	1,0 a 2,4	1,6 a 3,0	1,4 a 2,8	1 a 1,3	0,8 a 5,2

Legenda: FS + FA (Fossa séptica seguida de Filtro Anaeróbio); LF (Lagoa Facultativa); LAN + LF (Lagoa anaeróbia seguida de Lagoa facultativa); LA (lodos ativados); UASB + POS (Reatores UASB com pós-tratamento).

Fonte: Adaptado de von Sperling (2005).

3.2 Lagoas de estabilização

3.2.1 Histórico

A disposição de esgotos no solo é prática bastante antiga. As cronologias da evolução do saneamento citam seu emprego na Alemanha e na Inglaterra já nos séculos XVI e XVII, encontrando-se referência à sua utilização em épocas bem mais remotas, como é o caso da irrigação com esgoto executada em Atenas, antes da Era Cristã. Até fins do século XX e início do século XXI, essa foi a forma mais praticada e bem-sucedida de tratamento e disposição de esgotos resultantes da atividade humana. Datam desta época exemplos desses sistemas de tratamento que atingiram nossos dias e que continuam a prestar excelentes serviços a metrópoles do porte de Berlim, México e Melbourne, entre outras (PAGANINI, 1997 *apud* TSUTIYA, 2001).

Na cidade de San Antonio, no Texas (EUA), foi construída uma lagoa com a finalidade de armazenar esgotos e utilizá-los na irrigação. Este lago artificial era conhecido por Mitchel e tinha aproximadamente 280ha. Não se sabe ao certo o ano dessa construção, mas estima-se que ocorreu em 1901. Foi observado que o efluente tinha melhor qualidade que o afluente (KELLNER e PIRES, 1998).

Em Santa Rosa, para se evitar o custo de uma estação de tratamento, se fez passar o esgoto sobre um leito natural de pedras, acreditando-se que este teria um efeito de filtro percolador. O que veio a ocorrer foi a colmatação dos vazios e uma acumulação de esgotos até 0,90 m de altura, mas o efluente desta “lagoa” tinha características equivalentes às de um filtro biológico (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

Em Fesseden (EUA), não se tinha conseguido construir o sistema de tratamento para uma nova rede de coleta, e não havendo corpo receptor adequado, o efluente da rede foi dirigido a uma depressão do terreno, fora da cidade. Alguns meses depois, ficavam as autoridades surpreendidas com a qualidade do efluente final, comparável a de um tratamento secundário. Esta lagoa permaneceu em operação por 30 anos (JORDÃO e PESSÔA, 2005).

Em 1948, foi feita a primeira instalação americana projetada para a estabilização dos esgotos, na cidade de Maddok, North Dakota (KELLNER e PIRES, 1998). Segundo Jordão e Pessoa (2005), aproximadamente nesta mesma época, na Austrália desenvolveu-se estudos para realizar o tratamento de esgotos em lagoas, e este país foi pioneiro no uso de lagoas em série, que alguns chamam de “lagoas australianas”. A partir de 1950, os pesquisadores começaram a publicar seus trabalhos, e já em 1960 se estabeleceu um intercâmbio de informações e experiências entre o meio técnico dos países, que de forma definitiva aceitavam e defendiam o uso de lagoas.

No Brasil, as lagoas de estabilização foram introduzidas em 1960 pelo engenheiro Benoit Almeida Victoretti, com a construção das lagoas de estabilização de São José dos Campos – SP (KELLNER e PIRES, 1998). Segundo Jordão e Pessoa (2005), as lagoas foram construídas no sistema australiano, sendo duas lagoas em série, uma anaeróbia seguida de uma facultativa. Foi fruto de um convênio entre o Departamento de Águas e Energia Elétrica do Estado de São Paulo, a Fundação SESP (Serviço Especial de Saúde Pública) e a prefeitura de São José dos Campos. A finalidade do convênio era operar estas lagoas a serem construídas e estabelecer parâmetros de projeto de lagoas em nosso país.

No Ceará, o sistema de tratamento de esgotos mais utilizado é o de lagoas de estabilização, principalmente no interior do estado. Em Fortaleza, o sistema de Fossa Séptica ou decanto digestor seguido de filtro anaeróbio são os tratamentos mais utilizados, seguidos dos sistemas de lagoas de estabilização.

3.2.2 Conceitos

Segundo UEHARA e VIDAL (1989), as lagoas de estabilização podem ser definidas como um corpo de água lântico, construído pelo homem, e destinado a armazenar resíduos líquidos de natureza orgânica – esgoto sanitário bruto e sedimentado, despejos industriais orgânicos e oxidáveis ou águas residuárias oxidadas.

Segundo von Sperling (2005), de maneira geral, as lagoas de estabilização são bastante indicadas para as condições brasileiras, devido aos seguintes aspectos:

- suficiente disponibilidade de área em um grande número de localidades;
- clima favorável (temperatura e insolação elevadas);
- operação simples;
- baixos custos de manutenção e operação;
- necessidade de pouco ou nenhum equipamento.

Lagoas de estabilização não constituem ambiente propício ao desenvolvimento de bactérias nitrificantes, de modo que no efluente de lagoas predominam a amônia e o nitrogênio orgânico, principalmente a amônia. Por outro lado, as lagoas podem ser especialmente concebidas para a remoção de amônia por volatilização. Por exemplo, em lagoas rasas, devido à acentuada atividade fotossintética, há elevação do pH do meio e a conseqüente predominância de amônia livre (NH_3), volatilizável, sobre o íon (NH_4^+) (BASTOS, 2003).

Bastos (2003) acrescenta que o fósforo pode estar presente em formas orgânicas e inorgânicas, com predominância de fósforo inorgânico na forma de fosfatos. Os principais mecanismos para sua remoção em lagoas de estabilização são a retirada do fósforo orgânico contido nas algas e bactérias por meio de saída do efluente final (em torno de 10%) e a precipitação de fosfatos em condições de pH elevado.

Lagoas rasas com localização geográfica no Nordeste do Brasil possibilitam aproveitamento de mais de 84% da radiação incidente, com uma duração média de insolação de 2800h/ano. Esses fatores favorecem o processo de fotossíntese, reduzindo sobremaneira a concentração de CO_2 . Com a diminuição da acidez, ocorre a

elevação de pH, prevalecendo a fase gasosa de amônia e o desprendimento de gás amônia da fase líquida associada à precipitação de sais insolúveis de fósforo, tais como estruvita ($\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$) e aparita ($\text{Ca}(\text{OH}_2)(\text{PO}_4)_6$) (SOUSA *et al.*, 2005a)

Segundo Bezerra (1997), o uso de lagoas de estabilização é uma solução simples e de baixo custo, principalmente quando se dispõe de terrenos de preços não elevados. Deve-se levar em consideração o sentido predominante dos ventos ao localizá-las, já que algumas lagoas podem emanar maus odores principalmente pela presença de gás sulfídrico. Por isso, recomenda-se que estas não sejam construídas junto às áreas residenciais, devendo ficar, pelo menos, 500 metros de distância.

De acordo com as recomendações da Organização Mundial de Saúde (OMS, 1993) *apud* Bezerra (1997), as lagoas de estabilização de esgotos são sistemas de tratamento de esgotos usualmente adotados em regiões de clima quente, sempre preferidos quando existir terra disponível a um custo razoável. As características recomendadas para a qualidade microbiológica podem ser alcançadas com confiabilidade através de lagoas em série, quando convenientemente projetadas e operadas. Uma remoção adequada de helmintos pode ser conseguida com tempo de detenção de 8 a 10 dias, mas no mínimo duas vezes este tempo é requerido em climas quentes para redução dos coliformes termotolerantes aos valores recomendados.

Segundo Santiago (1999), os efluentes das lagoas de estabilização, devido a sua combinação solúvel de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e biomassa de algas, possuem um alto valor fertilizante, pois suprem quase todo o nitrogênio e a maior parte de potássio e fósforo requisitados pelas colheitas. Estes nutrientes são importantes para a economia agrícola de países desenvolvidos, onde os custos com fertilizantes constituem o maior peso nos gastos dos agricultores (PEARSON *et al.*, 1995 *apud* SANTIAGO, 1999).

Segundo von Sperling (1996), as principais desvantagens do sistema de lagoas de estabilização são: ocupam grandes áreas, possível necessidade de remoção de algas do efluente para o cumprimento de padrões rigorosos, possibilidade de maus odores em lagoas anaeróbias e possibilidade de crescimento de insetos.

3.2.3 Classificação

Segundo von Sperling (1996), há diversas variantes dos sistemas de lagoas de estabilização, sendo mais empregadas: lagoas facultativas, lagoas anaeróbias seguidas de facultativas (sistemas australianos) e as lagoas de maturação, as quais sucedem as facultativas.

Lagoas Facultativas: As lagoas facultativas são as variantes mais simples dos sistemas de lagoas de estabilização. Basicamente, o processo consiste na retenção dos esgotos por um período de tempo longo o suficiente para que os processos naturais de estabilização da matéria orgânica se desenvolvam.

A matéria orgânica em suspensão (DBO particulada) tende a sedimentar, vindo a constituir o lodo de fundo (zona anaeróbia). Este lodo sofre o processo de decomposição por microrganismos anaeróbios, sendo convertido lentamente em gás carbônico, água, metano, gás sulfídrico, dentre outros. Após um certo período de tempo, apenas a fração inerte (não biodegradável) permanece na camada de fundo. O gás sulfídrico gerado normalmente não causa problemas de mau cheiro, pelo fato de ser oxidado, por processo químicos e bioquímicos, na camada aeróbia superior.

A matéria orgânica dissolvida (DBO solúvel), conjuntamente com a matéria orgânica em suspensão de pequenas dimensões (DBO finamente particulada) não sedimenta, permanecendo dispersa na massa líquida. Na camada mais superficial tem-se a zona aeróbia. Nesta zona, a matéria orgânica é oxidada por meio de respiração aeróbia. Para tanto, há a necessidade de presença de oxigênio, o qual é suprimido ao meio pela fotossíntese realizada pelas algas. Através da respiração aeróbia, há a liberação de CO_2 para o meio, o qual é utilizado pelas algas para produzir mais oxigênio. Tem-se, assim, um perfeito equilíbrio entre o consumo de oxigênio e gás carbônico.

Lagoas anaeróbias: As lagoas anaeróbias constituem-se em uma forma alternativa de tratamento, onde a existência de condições estritamente anaeróbias é essencial. Tal é alcançado através do lançamento de uma grande carga de DBO por unidade de volume

da lagoa, fazendo com que a taxa de consumo de oxigênio seja várias vezes superior à taxa de produção. No balanço de oxigênio, a produção pela fotossíntese e pela reaeração atmosféricas são, neste caso, desprezíveis.

Lagoas de maturação: As lagoas de maturação possibilitam um polimento no efluente de qualquer dos sistemas de lagoas de estabilização ou de qualquer sistema de tratamento de esgotos. O principal objetivo das lagoas de maturação é o da remoção de patogênicos, e não da remoção adicional de DBO. As lagoas de maturação constituem-se numa alternativa bastante econômica à desinfecção do efluente por métodos mais convencionais, como a cloração.

Na Tabela 3 podem-se ver as características das lagoas de estabilização para cada variante supracitada.

TABELA 3 – Comparação entre os tipos de lagoas de estabilização

Tipo de sistema	Subtipo	Características	TDH	Eficiência
Lagoas de estabilização	Lagoas facultativas	Profundidade de 1,5 a 3 metros	Maior que 20 dias	70 a 90 %
	Lagoas anaeróbias	Profundidade maior que 3 metros	2 a 5 dias	50 a 70 %
	Lagoas de maturação	Profundidade de 0,8 a 1,2 metros	3 a 5 dias	70 a 90% na remoção de coliformes

Fonte: Adaptado de von Sperling (2005).

Uma série de lagoas produzirá um efluente final de melhor qualidade do que aquele produzido por uma única lagoa de área equivalente. Em relação a outros sistemas convencionais, a flexibilidade oferecida pelo uso de várias lagoas permite a redução do número de coliformes termotolerantes existentes no esgoto bruto, ao nível necessário, dependendo da destinação a ser dada ao efluente final e das suas restrições legais quanto à descarga do seu efluente no corpo receptor (SILVA, 1996 *apud* SANTIAGO, 1999).

Na Tabela 4 estão mostradas informações a respeito do desempenho de um sistema de lagoas de estabilização em série, localizado no Nordeste Brasileiro, comprovando a eficiência deste método de tratamento de esgotos.

TABELA 4 – Desempenho de um sistema de lagoas de estabilização em série no Nordeste do Brasil (temperatura 26°C).

Amostra coletada no		Tempo de detenção (dias)	DBO ₅ (mg/L)	Sólidos suspensos (mg/L)	Coliformes fecais (NMP/100mL)	Ovos de helmintos (ovos/litro)
Esgoto bruto		-	240	305	$4,6 \times 10^7$	804
Efluente da	Lagoa anaeróbia	6,8	63	56	$2,9 \times 10^6$	29
	Lagoa facultativa	5,5	45	74	$3,2 \times 10^5$	1
	Lagoa de maturação 1	5,5	25	61	$2,4 \times 10^4$	0
	Lagoa de maturação 2	5,5	19	43	450	0
	Lagoa de maturação 3	5,8	17	45	30	0

Fonte: Mara *et al.* 1963; Mara e Silva, 1986 *apud* Mancuso e Santos, 2003.

3.3 Aspectos relacionados à irrigação de culturas com esgotos

O propósito da irrigação é o de suprir as plantas com água, à medida que elas necessitam. De modo que se obtenha ótima produção em quantidade e qualidade, deve-se irrigar antes que a razão entre a quantidade de água no solo e a quantidade de demanda pela evapotranspiração diminua muito, fazendo com que a deficiência de água venha influenciar a produção, em quantidade e, ou, em qualidade (SALASSIER, 1995).

Um bom manejo de irrigação com esgotos deve procurar evitar o desenvolvimento de vetores de doenças e fomentar seu controle. Isto implica na mínima presença de águas livres, adequada construção e manutenção de canais, drenagem eficaz e a distribuição econômica e eficiente da água nos campos (AYERS e WESTCOT, 1991).

A quantidade de água requerida por uma cultura e a resposta da cultura à irrigação variam com o tipo de solo, tipo de cultura, os estádios de crescimento e as condições climáticas da região, sendo então impossível determinar um turno de rega fixo para cada cultura (SALASSIER, 1995).

Segundo Feigin *et. al.* (1991), a irrigação é uma prática padrão em climas áridos e semi-áridos, onde uma cultura intensiva não pode depender somente das precipitações.

3.3.1 Métodos de Irrigação

Faz parte do planejamento do reúso de águas residuárias tratada a escolha da técnica de irrigação, pois pode afetar a proliferação de microrganismos patogênicos, que possam estar presentes no esgoto. Segundo Mancuso e Santos (2003), a aplicação de esgotos tratados às culturas irrigadas pode ser efetuada pelos seguintes métodos básicos de irrigação:

- por inundação ou por canais laterais, molhando praticamente toda a superfície do solo;
- por sulcos, molhando apenas uma pequena parte da superfície do solo;
- por aspersores, fazendo com que o solo e as culturas sejam molhados de maneira semelhante ao que ocorre durante as chuvas;
- por irrigação subsuperficial, na qual apenas uma pequena porção do solo é molhada, mas permitindo a saturação do subsolo;
- por irrigação localizada (gota a gota, exsudação em mangueiras plásticas e *bubbler*), na qual a água é aplicada a cada planta, individualmente, e a uma taxa ajustável.

Segundo Bastos (2003), qualquer método pode ser empregado na irrigação com esgotos sanitários, desde que observadas as devidas particularidades. A seleção do método deve seguir uma série de critérios, incluindo considerações econômicas, topografia e características físicas do solo, tipos de culturas agrícolas, disponibilidade de mão-de-obra, qualidade de água e tradição de cultivo das propriedades rurais.

A escolha do método de irrigação a ser usado em cada área deve ser baseada na viabilidade técnica e econômica do projeto e nos seus benefícios sociais. Em geral, os sistemas de irrigação por superfície são os de menor custo por unidade de área, os de aspersão de custo médio e os de gotejamento de maior custo (SALASSIER, 1995).

Segundo Bastos (2003), para a elaboração de um projeto de irrigação com esgotos é necessário o levantamento das características locais e do efluente a ser utilizado. A escolha do método de irrigação está estreitamente relacionada às características da água de irrigação, do solo e das culturas a serem irrigadas. Inicialmente, é preciso considerar os aspectos sanitários, uma vez que o método de irrigação determina a forma e a intensidade de contato entre o efluente, as culturas irrigadas, os agricultores e a comunidade circunvizinha. Na Tabela 5 estão mostradas algumas vantagens e limitações associadas a cada método de irrigação.

TABELA 5 – Fatores que afetam a escolha do processo de irrigação e as medidas protetivas requeridas quando se utilizam esgotos.

Método de Irrigação	Fatores que afetam a escolha	Medidas protetivas necessárias
Inundação	Menores custos. Não é necessário nivelamento preciso do terreno.	Proteção completa para operários agrícolas, consumidores e manuseadores de culturas.
Sulcos	Custo baixo. Nivelamento pode ser necessário.	Proteção para operários agrícolas. Possivelmente necessária para consumidores e manuseadores de culturas.
Aspersores	Eficiência média do uso da água. Não há necessidade de nivelamento.	Algumas culturas da Categoria B, principalmente árvores frutíferas, são excluídas.
Subsuperficial ou localizada	Custos elevados. Elevada eficiência do uso da água. Alta produtividade agrícola.	Distância mínima de 100 metros de casas e estradas. Filtração para evitar entupimento de orifícios (exceto no caso de irrigação por <i>bubblers</i>).

Fonte: Mara e Cairncross (1989) *apud* Mancuso e Santos (2003).

3.3.2 Irrigação por gotejamento

A irrigação localizada constitui os métodos de irrigação em que a água é aplicada diretamente sobre a região radicular, em pequena intensidade e alta frequência, com possibilidade de manter a umidade próxima da ideal. No gotejamento, que é uma irrigação do tipo localizada, aplicam-se baixas vazões, na faixa de 2 a 10 L/h, gota a gota (MIRANDA e PIRES, 2003).

Segundo Feigin *et al.* (1991), no sistema de irrigação por gotejamento a água goteja de um emissor escoando por capilaridade e gravidade. O tamanho da área molhada depende principalmente da taxa de descarga do emissor e do tipo de solo, devido à alta frequência de aplicação de água, tende a ser constante.

Conforme Mancuso e Santos (2003), a irrigação por gotejamento consiste na disposição de tubos com pequenos diâmetros, usualmente menores que 25 mm, com furos, ou dispositivos que permitem o gotejamento uniforme, ao longo de toda a sua

extensão. Esses tubos secundários de pequenos diâmetros dependem da instalação de sistema primário de distribuição (maiores diâmetros), do bombeamento e dos sistemas de filtração para evitar o entupimento dos orifícios. A disposição dos tubos secundários é feita de forma a permitir uma cobertura homogênea da vegetação, e também permitir que os orifícios, ou dispositivos de gotejamento, estejam instalados próximos ao sistema radicular de cada planta.

Os sistemas de irrigação localizada aplicam água lentamente (2 a 8 litros por hora por emissor), com frequência de até um dia, o que permite manter o conteúdo da água no solo em níveis próximos da capacidade de campo. Além disso, pode-se manter a eficiência de aplicação em cerca de 100% e, portanto, satisfazer às necessidades de evapotranspiração sem perdas por escoamento ou percolação profunda (AYERS e WESTCOT, 1991).

Segundo Salassier (1995), as principais vantagens e desvantagens da irrigação localizada por gotejamento são:

Vantagens:

- Maior eficiência no uso de água;
- Maior produtividade;
- Maior eficiência na adubação: A irrigação por gotejamento permite a fertirrigação e, em razão de concentrar o sistema radicular da cultura junto ao “bulbo” molhado facilita a aplicação do adubo de cobertura;
- Maior eficiência no controle fitossanitário: A irrigação por gotejamento não irriga as ervas daninhas e não molha a parte aérea dos vegetais, o que facilita o controle das ervas daninhas, dos insetos e dos fungos, permitindo maior eficiência no uso de defensivos;

- Adapta-se a diferentes tipos de solos e topografia;
- Pode ser usado com água salina ou solos salinos: Como neste método, o turno de rega é, em geral, muito pequeno, o teor de umidade dentro do “bulbo” molhado é sempre bastante elevado, mantendo menor concentração de sal dentro do bulbo e maior concentração na sua periferia;
- Economia de mão-de-obra.

Dentre as desvantagens, pode-se citar:

- O problema de entupimento em razão da precipitação de sais, e, ou, sedimentação, dentro dos gotejadores, das partículas de argila e silte, em suspensão na água de irrigação, e que não são retidos nos filtros comuns;
- A distribuição no sistema radicular.

Ayers e Westcot (1991) acrescentam que a obstrução dos emissores do sistema de gotejamento pode ser devido a um só elemento ou à combinação de vários. Neste último caso, o problema é mais grave e mais difícil de se eliminar. Descobrir os emissores parcialmente obstruídos é tarefa bastante difícil, pois requer a medição do fluxo em cada emissor. A medida melhor, e mais econômica, é prevenir a obstrução desde o início do projeto mediante filtros selecionados segundo a qualidade da água e da operação do sistema.

Irrigação localizada (gotejamento) requer altos investimentos em equipamentos e bom conhecimento de operação e manutenção. Uma vantagem é que fornece proteção para os agricultores por evitar contato com o efluente. Entretanto, a água deve ser filtrada para evitar obstrução do sistema. Além disso, crescimento de algas e conseqüente obstrução pode ser um problema (HUIBERS, 2002).

Segundo Feigin *et al.* (1991), devido à lenta aplicação de água a parcial umidade do solo, o escoamento é restrito e a percolação em profundidade pode ser melhor

controlada. As folhas e frutos são mantidos secos durante a irrigação, por isso o risco de contaminação por deposição de aerossóis é eliminado. A irrigação por gotejamento é altamente conveniente pela rápida e eficiente aplicação de fertilizantes e produtos químicos. Além disso, a irrigação por gotejamento é adequada, pois não requer preparações especiais de superfície do terreno, e automaticamente pode ser facilmente incorporado num sistema de irrigação.

3.3.3 Irrigação por sulco

A irrigação por sulco é o método de irrigação que consiste na condução da água em pequenos canais ou sulcos situados paralelos às fileiras das plantas durante o tempo necessário para que a água, infiltrada ao longo do sulco, seja suficiente para umedecer o solo na zona radicular da cultura. Para que se possa ter boa eficiência de irrigação com este método, é necessário que o terreno esteja sistematizado (SALASSIER, 1995).

Segundo Miranda e Pires (2003), na irrigação por superfície em sulcos, a aplicação de água fica restrita a apenas uma proporção variável entre 20 e 60% da área total. Em geral, apresentam um gradiente uniforme, podendo também ser nulo, na direção do escoamento. Na direção transversal, o gradiente do terreno pode ser variável. Entretanto, recomenda-se que não ultrapasse cerca de 10% para não dificultar a operação das irrigações pelo risco de transbordamento e conseqüente erosão. Sem dúvidas, maiores vantagens práticas são obtidas em condições de gradientes reduzidos e uniforme nas duas direções.

Em virtude da condução da água ser feita por meio de sulcos, não exigindo tubulações e pressão de serviço, este método de irrigação é um dos métodos com menor custo de implantação e operação (SALASSIER, 1995). Segundo Miranda e Pires (2003), os sistemas de irrigação por superfície prevalecem, no mínimo, em 70% das áreas irrigadas do mundo, atingindo cerca de 180 milhões de hectares. No Brasil, não há estatísticas precisas, porém, admite-se que devem prevalecer em mais de 70% da área irrigada nacional.

No caso de irrigação por sulcos com esgotos, é necessária a proteção para os manipuladores de colheitas devido à possível contaminação dos frutos (COURACCI FILHO *et al.*, 2001 *apud* VASCONCELOS, 2005).

Miranda e Pires (2003) citam como vantagens da irrigação por sulcos:

- Em geral, revelam um baixo custo anual (soma dos custos fixos e variáveis) quando comparados aos principais sistemas pressurizados existentes.
- Podem eliminar a necessidade de bombeamento e, conseqüentemente, de utilização de energia para disponibilizar a água na área irrigada.
- Aplicáveis a todas as culturas. Não há uma única cultura econômica que apresente restrições à irrigação por superfície.
- Menor dependência à qualidade física e biológica da água, condição que os torna particularmente indicados para a qualidade das águas superficiais geralmente empregadas para irrigação nas condições brasileiras.
- Dispensam equipamentos especiais mão-de-obra especializada no processo de aplicação de água.
- Possibilitam a aplicação de fertilizantes ou agrotóxicos hidrosolúveis na água de irrigação.
- Não interferem nos tratamentos fitossanitários desenvolvidos na parte aérea das plantas cultivadas.

E as principais limitações são:

- Acentuada dependência à topografia, em geral, requerendo sistematização da superfície.
- Inadequados aos solos rasos, pedregosos ou excessivamente permeáveis.
- Dimensionamento, operação e manejo mais complicados que outros sistemas, resultando, muitas vezes, em desempenho insatisfatório.
- Parâmetros hidráulicos variáveis com as sucessivas irrigações, pelas modificações observadas na condição superficial e/ou características de infiltração.
- Dificuldades para operação noturna e automação.

- Ineficientes no controle de geadas.
- Incorporação dos sistemas às áreas para as quais são implementados. Portanto, a única possibilidade de se desfazer do sistema se resume da venda da terra.
- Limitada divulgação, dificultando sua aceitação, discussão e solução de muitos problemas técnicos e práticos comuns às áreas irrigadas.
- Requerem assistência técnica especializada para orientar a operação e o manejo das irrigações, em função dos cálculos necessários. Esta particularidade pode ser revertida como vantagem, quando se considera o aumento na demanda de serviços técnicos especializados para profissionais habilitados.

3.4 Aspectos relacionados ao uso de esgoto sanitário tratado na agricultura

Conforme Mota (1997), os esgotos domésticos carregam dejetos de origem humana, os quais podem conter microrganismos patogênicos. A matéria orgânica presente nos esgotos domésticos, quando introduzida nos mananciais, provoca o consumo de oxigênio dissolvido na água, com impactos sobre a vida aquática. Os esgotos precisam, portanto, ser coletados e ter um destino adequado, de forma que seja evitada a transmissão de doenças ao homem e minimizados os seus impactos sobre o meio ambiente.

A utilização de esgotos sanitários em irrigação, tratados ou não, é uma prática antiga e corrente em diversos países, como Austrália, Israel, Estados Unidos, México e Peru. No Brasil, embora a prática do reúso de águas servidas ainda seja pequena, registram-se vários exemplos de utilização de esgotos sanitários em irrigação, em geral, de forma espontânea e não controlada (BASTOS, 2003).

Haruvy (1998) alerta que a irrigação com esgoto deve ser monitorada regularmente e aplicada cautelosamente, de acordo com o método de irrigação e as formas de fertilização.

A utilização de esgotos sanitários constitui uma possibilidade de expansão de áreas irrigadas, de alívio sobre a demanda de água, de minimização de fontes de contaminação dos corpos receptores e de redução de custos de produção, haja vista o elevado conteúdo de nutrientes presentes nos esgotos. Entretanto, o manejo

inadequado da irrigação com esgotos sanitários pode resultar em sérios riscos à saúde, efeitos deletérios no solo e nas plantas e em impactos ambientais, como a lixiviação de poluentes e a contaminação das águas subterrâneas (BASTOS, 2003).

3.4.1 Aspectos agronômicos e ambientais

Como o esgoto contém significativo nível de nutrientes, a irrigação e a fertilização são inseparáveis. Este fato tem prós e contras. Irrigação com esgoto pode reduzir despesas com fertilizantes, mas a taxa, a proporção e o tempo de aplicação dos nutrientes não são controlados (AVNIMELECH, 1993). É necessário um adequado balanço entre a demanda e oferta de água e nutrientes, a fim de evitar tanto a aplicação insuficiente como o excesso de nutrientes (BASTOS, 2003).

O fornecimento de nutrientes se dá de forma contínua e gradual, bem como gradual pode ser a disponibilidade dos nutrientes, dependendo da forma (espécie) veiculada pelo efluente aplicado ao solo. Em outras palavras, o controle do balanço de nutrientes é mais difícil que na irrigação e fertirrigação tradicionais (BASTOS, 2003).

Segundo Avnimelech (1993), o uso de esgotos pode aumentar o nível de nutrientes se a quantidade total de nutriente aplicada for maior que a necessária ao cultivo ou se alguns dos nutrientes for aplicado quase no fim do cultivo, quando a quantidade de nutrientes é baixa. Mancuso e Santos (2003) afirmam que o aumento da extensão de terras áridas e a escassez de fertilizantes, em âmbito mundial, apontam para o aproveitamento dos nutrientes contidos nos esgotos, em vez de sua simples rejeição.

Williams (2003) acrescenta que o uso de esgoto na irrigação também pode resultar em sérios problemas ambientais, contaminando a água subterrânea com nitratos e poluentes químicos, incluindo metais pesados. Segundo Avnimelech (1993), a remoção de metais pesados em efluentes usados para irrigação depende da separação efetiva da biomassa do esgoto usando técnicas de sedimentação.

O manejo adequado da irrigação envolve a compatibilização entre a qualidade da água e as características do solo e das culturas irrigadas, as quais apresentam

tolerância variável. Além disso, os efeitos destes fatores são influenciados pelas condições climáticas locais (BASTOS, 2003).

Conforme Mancuso e Santos (2003), o reúso de água em irrigação agrícola pode resultar na contaminação do lençol freático, se os volumes de água aplicados forem superiores às necessidades específicas da irrigação e se essa água contiver teores excessivos de compostos persistentes, como sais inorgânicos, compostos orgânicos sintéticos, metais pesados, etc. Esse é um problema sério, na medida em que a descontaminação é extremamente lenta, podendo levar anos. Conforme Bastos (2003), este fato ocorre particularmente em regiões áridas, com solos permeáveis e rasos.

3.4.2 Aspectos sanitários

Segundo Williams (2003), o prolongado contato com esgotos poderia expor os agricultores e suas famílias a riscos de saúde – tais como vermes parasitas e doenças causadas por vírus e bactérias. Haveria também um risco para os consumidores se vegetais fossem irrigados com esgoto; e os canais de esgoto poderiam servir como habitat para vetores de doenças como os caracóis e mosquitos.

Para que um organismo patogênico presente em um efluente utilizado para irrigação chegue a provocar doença, o mesmo teria de resistir aos processos de tratamento de esgotos e sobreviver no meio ambiente em número suficiente para infectar um indivíduo suscetível que venha a ter contato com a água residuária, com o solo ou com as culturas irrigadas (BASTOS, 2003).

Segundo Bastos e Mara (1993) *apud* SANTIAGO (1999), o risco real de uma pessoa ser contaminada, é uma combinação de uma série de fatores, como:

- dose infectiva
- patogenicidade
- suscetibilidade e grau de imunidade do hospedeiro
- grau de exposição humana aos focos de transmissão

Segundo Huibers (2002), esgoto tratado a nível secundário pode seguramente e com produtividade ser usado para irrigação se a qualidade exata da água é conhecida e técnicas apropriadas de irrigação e gestão de água são aplicadas pelos agricultores. Na Tabela 6 estão mostradas as diretrizes microbiológicas recomendadas para uso de esgotos na agricultura.

Avnimelech (1993) acrescenta que uma revisão nos estudos epidemiológicos não revelou nenhuma indicação de ocorrência excessiva de doença como resultado de irrigação de cultura com esgoto que tenha recebido tratamento secundário.

Segundo Devaux *et al.* (2001), o reúso provoca a necessidade de pesquisas sobre a questão dos riscos à saúde. Em seu estudo entre os agricultores e seus familiares não foi observado nenhum fenômeno particular, relacionando doenças à prática do reúso de efluentes.

TABELA 6 – Diretrizes microbiológicas recomendadas para uso de esgotos na agricultura.

Categoria	Condições de reúso	Grupos de risco	Nematodos intestinais⁽¹⁾ (n° ovos/L)⁽²⁾	Coliformes fecais (UFC/100mL)⁽³⁾	Sistema de tratamento recomendado para atingir a qualidade microbiológica
A	Irrigação de culturas a serem ingeridas cruas, campos esportivos, parques públicos ⁽⁴⁾	Operários, consumidores, público	≤ 1	1.000	Lagoas de estabilização em série ou tratamento equivalente
B	Irrigação de cereais, culturas industriais, forragem, pastos e árvores ⁽⁵⁾	Operários	≤ 1	—	Retenção em lagoas de estabilização por 8 a 10 dias ou remoção equivalente de helmintos e coliformes fecais
C	Irrigação localizada de culturas da categoria B, se não ocorrer exposição de trabalhadores e do público	Nenhum	—	—	Pré-tratamento requerido pela técnica de irrigação aplicada, mas não menos do que tratamento primário

(*) Em casos específicos, fatores epidemiológicos, socioculturais ou ambientais devem ser levados em consideração e essas diretrizes modificadas de acordo: (1) *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator americanus* e *Ancilostomus duodenalis*; (2) Média aritmética durante o período de irrigação; (3) Média geométrica durante o período de irrigação; (4) Um valor diretriz mais restritivo (200 coliformes fecais por 100mL) é apropriado para gramados públicos, tais como os de hotéis, com os quais o público tenha contato direto; (5) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deve cessar duas semanas antes dos frutos serem consumidos, e frutos não devem ser colhidos do chão. Irrigação por sistemas de aspersores não deve ser utilizada.

Fonte: WHO (1989) *apud* MANCUSO e SANTOS (2003)

Segundo Mancuso e Santos (2003), a primeira consideração que deve ser feita em caso de reúso de água é com a presença de microrganismos patogênicos. Mais exatamente, trata-se de garantir que esses microrganismos não estejam presentes na água em densidades que representem um risco significativo para a saúde dos usuários. As formas de controle vão desde a aplicação de processos de tratamento eficazes até o monitoramento da qualidade da água, por meio de análises periódicas.

A educação ambiental, tanto para os agricultores como para o público consumidor, pode ajudar a minimizar os riscos de saúde associados à irrigação com esgoto. Os agricultores devem estar conscientes de todos os riscos potenciais possíveis. Eles também se beneficiariam com o conhecimento de higiene básica – precauções relacionadas – podendo evitar infecções e prevenir o espalhamento de doenças gastro-intestinais em suas famílias (WILLIAMS, 2003).

Segundo Mancuso e Santos (2003), uma maneira efetiva de fornecer informações específicas ao público é por um adequado programa educacional, introduzido nos currículos das escolas. Entre os componentes desses programas, deve ser incluído um eficiente programa de adequação de mão-de-obra dos instrutores. Com isso, é possível um aumento no nível de conhecimento público sobre reúso de água, o que, certamente, contribuirá para uma aceitação dos projetos por parte desse público.

Snel (2002) acrescenta que os valores sócio-culturais, crenças e costumes de preocupação com a fonte de água, saneamento, higiene e outras atividades relacionadas com o uso de resíduos usualmente é parte crucial em um projeto e nunca deve ser subestimado. Deve-se ter enfoque na ênfase à informação da comunidade e programas de educação em que algum programa de reúso de esgoto é explicado de maneira clara mostrando as vantagens e desvantagens do reúso de esgoto. Perigos ambientais e riscos à saúde causados pelo reúso devem ser minimizados para melhorar a confiança na importância do reúso de esgotos pelas comunidades.

3.5 Reúso de águas

3.5.1 Histórico

A aplicação de água residuária no solo não constitui uma prática recente. Tem-se notícia de seu uso desde tempos antes de Cristo, em Atenas, Grécia. O mais antigo documento sobre disposição de águas em áreas agrícolas refere-se aos sistemas de Bunzlau, Alemanha e Edimburgo, Escócia, que estiveram em operação em 1531 e 1650, respectivamente. Em outras localidades da Europa e na Oceania, durante o século XIX, também foram desenvolvidas atividades de reúso agrícola (FEIGIN, 1990 *apud* SANTIAGO, 1999).

Há relatos de reúso planejado ou direto de água residuária, no século XVI, na Alemanha, e em muitas partes da Europa e da América, na metade do século XIX (COOPER, 1991 *apud* SANTIAGO, 1999). Em 1900, na Europa e nos Estados Unidos, os efluentes, tratados ou não, eram usados em fazendas (MARA e CAIRNCROSS, 1990 *apud* SANTIAGO, 1999).

Em 1926, no Parque Nacional do Grand Canyon, Arizona, efluentes foram utilizados para abastecimento nos banheiros, na irrigação de gramados e na alimentação de caldeiras. Em 1932, unidades convencionais de tratamento de água residuária foram construídas perto do parque e o reúso continuou até 1985 (METCALF e EDDY, 1991).

O reúso, até há alguns anos tido como uma opção exótica, é uma alternativa que não pode ser ignorada, notando-se distinção cada vez menor entre técnicas de tratamento de água *versus* técnicas de tratamento de esgotos. Realmente, o tratamento de água deve ser visto como um meio de purificar a água de qualquer grau de impureza para um grau de pureza que seja adequado ao uso pretendido, predominando, portanto, a importância de selecionar e combinar, competentemente, os diversos processos unitários que sejam adequados (HARREMOES *apud* MANCUSO e SANTOS, 2003).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2006), no Brasil, a prática do reúso de esgotos, principalmente para a irrigação de hortaliças e de algumas

culturas forrageiras, é de certa forma difundida. Entretanto, constituem-se procedimentos não institucionalizados e têm se desenvolvido até agora sem nenhuma forma de planejamento ou controle.

Conforme Santiago (1999), com a escassez de água, fatores econômicos e com os custos tarifados de água, o Ceará, de forma pioneira no Nordeste, vem projetando um cenário tendencial para reutilização de águas residuárias tratadas, com o objetivo de complementar a oferta hídrica de empreendimentos industriais e comerciais. No Ceará já existem algumas experiências de reúso, confirmando-se que um controle rigoroso na qualidade da água, pode contribuir para a mudança do atual cenário de desperdícios de água.

Segundo Alves (2005), a CAGECE (Companhia de Água e Esgoto do Ceará) tem se preocupado atualmente em desviar o destino final de efluentes tratados, em suas estações de tratamento, de corpo receptores (corpos hídricos) para algum uso aceitável, como irrigação e piscicultura.

3.5.2 Classificação

A classificação do Reúso de Águas de acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS, 1973) *apud* Mancuso e Santos (2003):

- reúso indireto: ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial, é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizada novamente a jusante, de forma diluída;
- reúso direto: é o uso planejado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- reciclagem interna: é o reúso da água internamente às instalações industriais, tendo como objetivo a economia de água e o controle da poluição.

Segundo Mancuso e Santos (2003), a ABES (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental) adotou a seguinte classificação:

- Reúso potável direto: quando o esgoto recuperado, por meio de tratamento avançado, é diretamente reutilizado no sistema de água potável.
- Reúso potável indireto: caso em que o esgoto, após tratamento, é disposto nas coleções de águas superficiais ou subterrâneas para diluição, purificação natural e subsequente captação, tratamento e, finalmente, utilizado como água potável.
- Reúso não potável para fins agrícolas: embora, quando se pratica essa modalidade de reúso, via de regra haja, como subproduto, recarga do lençol subterrâneo, o objetivo precípuo dela é a irrigação de plantas alimentícias, tais como árvores frutíferas, cereais, etc., e plantas não alimentícias, tais como pastagens e forrações, além de ser aplicável para dessedentação de animais.
- Reúso não potável para fins industriais: abrange os usos industriais de refrigeração, águas de processo, para utilização em caldeiras, etc.
- Reúso não potável para fins recreacionais: classificação reservada à irrigação de plantas ornamentais, campos de esportes, parques e também para enchimento de lagoas ornamentais, recreacionais, etc.
- Reúso não potável para fins domésticos: são considerados aqui os casos de reúso de água para rega de jardins residenciais, para descargas sanitárias e utilização desse tipo de água em grandes edifícios.
- Reúso para manutenção de vazões: a manutenção de vazões de cursos de água promove a utilização planejada de efluentes tratados, visando a uma adequada diluição de eventuais cargas poluidoras a eles carregadas, incluindo-se fontes difusas, além de propiciar uma vazão mínima na estiagem.

- Aqüicultura: consiste na produção de peixes e plantas aquáticas visando à obtenção de alimentos e/ou energia, utilizando-se os nutrientes presentes nos efluentes tratados.
- Recarga de aquíferos subterrâneos: é a recarga dos aquíferos subterrâneos com efluentes tratados, podendo se dar de forma direta, pela injeção sob pressão, ou de forma indireta, utilizando-se águas superficiais que tenham recebido descargas de efluentes tratados a montante.

Na Figura 1 tem-se um diagrama onde é mostrada a classificação do reúso em relação ao planejamento e a potabilidade da água.

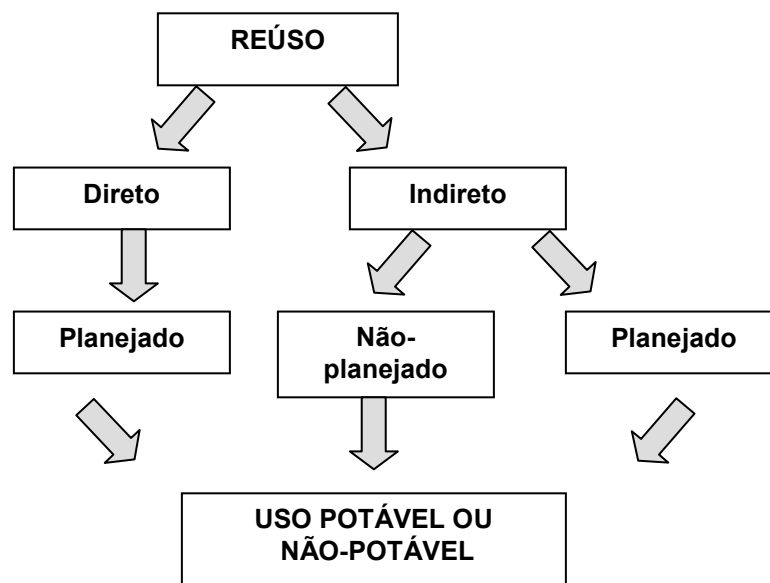


FIGURA 1 – Diagrama de classificação do reúso (ESCALERA, 1995 *apud* SANTIAGO, 1999).

3.6 Reúso na agricultura

3.6.1 Experiências no mundo

São muitos os países, sobretudo aqueles que se encontram em regiões áridas e semi-áridas, em que ocorrem experiências relacionadas à irrigação de culturas com esgotos sanitários tratados. Os estudos referem-se a aspectos agronômicos, sanitários, ambientais e técnicos. Na Tabela 7 encontra-se um levantamento sobre o reúso agrícola em diversos países.

Conforme Alves (2005), em 1958, as Nações Unidas estabeleceram que “Nenhuma água de melhor qualidade deve ser utilizada em um uso que suporte um nível de qualidade inferior, a não ser que haja excesso da mesma”. Tal atitude funcionava como uma intimação ao aproveitamento de águas de menor qualidade, incluindo as águas residuárias tratadas.

TABELA 7 – Exemplo de países que utilizam o efluente de esgotos para uso agrícola

Local	Cultivo	Tratamento	Área irrigada (ha)
América Latina - México Mexicali	Hortaliças	Sistema australiano	250.000
- Peru ICA San Juan (Lima)	Algodão, uva e hortalças	Lagoas facultativas Lagoas facultativas e de maturação	4.300
- EUA Muskegon, Michigan Lubbock, Texas	Vários Algodão	Lagoa aerada e de maturação Tratamento primário, secundário e desinfecção	14.000
Europa - Alemanha	Hortaliças	Tratamento primário, secundário e desinfecção	28.000
Ásia - Índia Calcutá	Vários	Lagoas	73.000
Austrália - Melbourne	Forragens	Lagoas	10.000
África e Oriente Médio - Tunísia	Vários	Lagoas	7.350
- Kuwait	Vários	Tratamento primário, secundário e desinfecção	12.000
- Sudão	Bosques	Tratamento primário e secundário	2.800
- Israel	Vários	Lagoa anaeróbia, facultativa e de maturação	10.000

Fonte: Adaptado de Kellner e Pires (1998) e Bastos (1999) *apud* Tsutiya (2001)

Israel é um país que se situa numa região árida. O reúso neste país promove a preservação das escassas fontes de água. (AVNIMELECH, 1993). O experimento relatado por Haruvy (1998) comparou os benefícios da irrigação no sul do país à do centro, onde ocorre o tratamento de esgoto. Foi levada em consideração a distância entre as regiões, a transferência do esgoto para o sul e os riscos ambientais. Transferindo-se esgoto tratado para o sul de Israel alguns benefícios são perdidos. No entanto, se tal transferência fosse necessária, por conta da escassez de terra para agricultura no centro de Israel e/ou um prejuízo ambiental fosse crítico numa localização específica, os agricultores deveriam utilizar esgoto tratado transportado, pois os custos da transferência seriam compensados pela sua contribuição na tarefa de preservação ambiental.

Vasquez-Montiel *et al.* (1996) relatam experimento realizado em **Portugal** com a irrigação da cultura do milho. Para comparar irrigação com esgoto à irrigação com água fresca, os dois tratamentos foram aplicados em lotes do experimento exibidos ao acaso no projeto. Concluiu-se que um fator que favorece o reúso é que representa fonte de nutriente e de água. É importante montar programas de monitoramento não somente para identificar e resolver potenciais problemas ambientais, mas também para dar confiabilidade do suprimento de nutriente.

Na **Jordânia**, um país caracterizado pela escassez de água, a maioria do esgoto doméstico é tratada e seu efluente usado na agricultura. Entretanto, algumas estações de tratamento de esgoto são sobrecarregadas e a qualidade do efluente torna-se pobre. Jordânia tem legislação que determina os tipos de cultivo que são permitidos para serem irrigados e dependem da qualidade da água (HUIBERS, 2002). Fayyad e Alkhatib (2002) acrescentam que, na Jordânia, país situado em região árida, desde 1985 o reúso direto e controlado de esgoto tratado tem aumentado. Foram estabelecidas diretrizes nacionais para o reúso de esgoto na irrigação. Esta legislação e regulamentações são necessárias para proteção da saúde, planejamento e implementação segura do reúso de esgoto na irrigação.

O clima do **Egito** é caracterizado por verão seco e quente e inverno com pouca chuva. Neste país, o setor de agricultura é um dos mais importantes setores da economia. Quase 50% da população vivem em áreas rurais, e aproximadamente um terço da força de trabalho está empregada em atividades agrícolas. O reúso é, portanto, uma forma de conservação de fonte de água e de nutrientes (EL-GOHARY, 2002).

Mendoza na **Argentina** é uma região árida. O projeto de reúso de águas nessa região diminuiria os descartes nos mananciais. Na ausência de explícita especificação de responsabilidades institucionais, é necessário promover discussões inter-institucionais sobre papéis e funções associados com reúso de água na irrigação nesta região (VÉLEZ *et al.*, 2002).

É interessante citar casos como o do estado da Califórnia (**EUA**), que, no seu código de água, considera que a utilização de água potável para irrigação paisagística é um “uso insensato e um desperdício”, quando a água recuperada está disponível e pode ser usada com segurança (ASANO *et al.*, 1992 *apud* NEVES, 1999). Hoek (2002)

acrescenta que o primeiro governo que colocou restrições para irrigação com esgoto foi o Estado da Califórnia (EUA). O Departamento de Saúde deste Estado estabeleceu valores numéricos para micróbios como um padrão que poderia ser incluído na legislação.

Na América Latina, **Peru** e **Chile** apresentam exemplos significativos de reúso. No Chile, todo o esgoto de Santiago (cerca de 5 milhões de habitantes) é usado para irrigação em áreas vizinhas à cidade. Em épocas de estiagem, normalmente se pratica o reúso direto para irrigação maciça de hortaliças (TSUTIYA, 2001).

Ayers e Westcot (1991) relatam que em Braunschweig, República Federal da **Alemanha**, utilizam-se as águas residuárias na produção de culturas há quase 100 anos. Em 1954, o sistema incluiu 3.000 ha irrigados por aspersão. As águas residuárias foram entregues a 300 agricultores através de 100 km de tubulação enterrada. Não se tem apresentado problemas neste modelo de cultivo, principalmente porque o clima é suave e as chuvas, junto com o excesso de irrigação, controlam a salinidade.

Em estudo de caso no **Paquistão**, analisou-se a qualidade água subterrânea e do solo, do esgoto e as aplicações de nutrientes num cultivo que foi irrigado com esgoto. Para efeito comparativo, também irrigou-se com água e com a mistura de esgoto e água. Como o esgoto não teve tratamento, nos resultados do reúso foi mostrado contaminação do solo e da água subterrânea e também doenças entre a população exposta quando da irrigação por esgoto não tratado. O esgoto de áreas urbanas contém uma variedade de poluentes de origem biológica e dependendo do nível de desenvolvimento industrial, poluentes químicos. Portanto, se o tratamento não for possível por conta dos altos custos, outras medidas de proteção precisam ser tomadas. (HOEK, 2002).

Na **China** o esgoto usado na agricultura tem-se desenvolvido rapidamente desde 1958, e existia, em 1987, mais de 1,33 milhões de hectares irrigados com efluentes de esgotos. É geralmente aceito, que o uso de águas residuárias na agricultura é justificado do ponto de vista econômico e agrônômico, mas é necessária mais atenção para minimizar impactos desfavoráveis a saúde humana e ao meio ambiente (BARTONE e ARLOSOROFF, 1987 *apud* SANTIAGO, 1999).

3.6.2 Reúso no Brasil

Segundo Mancuso e Santos (2003), a demanda atual de água para o setor agrícola brasileiro representa, atualmente, 70% do uso consuntivo total, com forte tendência para chegar a 80% até o final desta década. Portanto, ante o significativo do papel que essas grandes vazões assumem, em termos de gestão de nossos recursos hídricos, é de extrema importância que se atribua prioridade para institucionalizar, promover e regulamentar o reúso para fins agrícolas, em âmbito nacional. Durante as duas últimas décadas, o uso de esgotos para irrigação de culturas aumentou significativamente, em razão dos seguintes fatores:

- dificuldade crescente de identificar fontes alternativas de águas para irrigação;
- custo elevado de fertilizante;
- a segurança de que os riscos de saúde pública e impactos sobre o solo são mínimos, se as precauções adequadas são efetivamente tomadas;
- os custos elevados dos sistemas de tratamento, necessários para descarga de efluentes em corpos receptores;
- a aceitação sociocultural da prática do reúso agrícola;
- o reconhecimento, pelos órgãos gestores de recursos hídricos, do valor intrínseco da prática.

No Brasil, pouco ou quase nada se tem de registros sobre a extensão e intensidade da utilização de esgotos sanitários em irrigação ou piscicultura, o que não significa que não seja praticada, ou mesmo necessária. Vale adicionar que o Brasil dispõe de cerca de 11% do total de água doce do planeta, porém desigualmente distribuídos no território nacional: a Amazônia detém a maior parte da reserva hídrica do País, para apenas 15% da população total brasileira (BASTOS, 2003).

A experiência do PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico) no seu 3º edital, relatada por Bastos (2003), apresenta algumas conclusões:

- Em relação aos aspectos agrônômicos da utilização de esgotos tratados em irrigação: Na maioria dos experimentos, logrou-se boa produtividade com a fertirrigação com esgotos, comparável à dos tratamentos-controle (água e fertilização química), reunindo-se, portanto, indicações do grande potencial de economia de fertilizantes químicos. Particularmente elevada foi a produtividade alcançada na produção de forrageiras, sob condições climáticas da região Nordeste.
- Vários experimentos confirmaram também o fato de que a otimização da produção requer balanço adequado entre as demandas de água e nutrientes, sendo por vezes necessário, dependendo das características do efluente e da dotação de rega, a adubação química suplementar ou, de outro lado, o controle da aplicação de nutrientes em excesso.
- Em relação aos riscos de lixiviação de poluentes, nos experimentos realizados, embora não se tenha detectado contaminação do lençol, os resultados revelaram indícios do potencial do problema e a necessidade de adequado manejo de irrigação, particularmente em termos de lâminas de irrigação.
- Em relação aos aspectos sanitários: a irrigação com efluentes de acordo com o padrão recomendado pela OMS para irrigação irrestrita (média geométrica de 10^3 NMP/100mL para coliformes fecais durante o período de irrigação) resulta em qualidade

de hortaliças aceitável para consumo. Os resultados do experimento confirmam ainda a seleção de culturas e de métodos de irrigação como uma importante medida de mitigação de riscos potenciais à saúde.

- Foram ainda reunidas informações adicionais sobre o potencial de lagoas de estabilização em produzir efluentes propícios à irrigação: sistemas bem projetados e operados podem alcançar elevada eficiência de remoção de coliformes, produzindo efluentes de acordo mesmo com os critérios da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) que recomenda $\leq 200 \text{NMP}/100 \text{mL}$ para coliformes fecais. Em um dos casos analisados, a eficiência em uma série de três lagoas, recebendo efluente de um reator UASB, alcançou mais de cinco unidades logarítmicas, produzindo efluente com densidades de *E. coli* da ordem de $10^1 \text{ UFC}/100 \text{mL}$.

A região semi-árida do nordeste do Brasil é caracterizada por apresentar um curto período chuvoso, temperatura elevada e alta taxa de evaporação. Quanto à quantidade de água no solo disponível às plantas, nessa região, registra-se uma deficiência hídrica na grande maioria dos meses do ano. O reúso planejado de águas residuárias domésticas na agricultura vem sendo apontado como uma medida para atenuar o problema da escassez de hídrica no semi-árido, sendo uma alternativa para os agricultores localizados especificamente nas áreas circunvizinhas das cidades (SOUZA *et al.*, 2003 *apud* SOUSA *et al.*, 2005a).

Conforme Bastos (2003), no momento em que se discute a necessidade de regulamentação da utilização de esgotos sanitários em irrigação no Brasil, é importante manter as seguintes reflexões em perspectivas:

- A classificação de risco sugerida para os microrganismos patogênicos mostra-se apropriada para as condições normalmente encontradas em países em desenvolvimento, onde os parasitas intestinais são geralmente endêmicos, níveis significativos de imunidade às doenças virais são desenvolvidos nos primeiros anos de vida e as infecções bacterianas encontram os mais variados focos de transmissão;

- A utilização espontânea de esgotos, na maioria das vezes, sem tratamento, é uma realidade no país;
- Padrões de qualidade de efluentes mais exigentes somente podem ser contemplados por processos rigorosos de tratamento, incluindo tratamento terciário e desinfecção, o que soa como uma realidade distante no País;
- O estabelecimento de padrões pouco factíveis pode redundar em peça fictícia, na perpetuação de violações e de práticas não recomendáveis.

A qualidade sanitária de esgotos tratados tem que ser estabelecida para garantir o uso seguro na irrigação. No Brasil, não existem normas nem critérios próprios para reúso de água de qualidade inferior, apesar da utilização de esgotos domésticos na agricultura ser uma prática milenar realizada em todos os continentes. Na falta de normas, seguem-se as recomendações da Organização Mundial de Saúde que, tratando-se de irrigação irrestrita, recomenda menos de 1 ovo de helminto por litro e menor ou igual a 1.000 coliformes fecais por litro (SOUSA *et al.*, 2005a).

3.6.3 Culturas irrigadas com esgoto sanitário tratado

Estudo realizado por Silva e Souza (2005) teve como enfoque o reúso na **irrigação paisagística**. A pesquisa avaliou os efeitos sobre o sistema solo-água-planta e o potencial do tratamento. Como principais conclusões da pesquisa, destacam-se: a intermitência adotada no manejo da irrigação pode ter influenciado positivamente no tratamento dos efluentes do solo; observou-se o melhoramento das características do solo pela aplicação de águas residuárias em curto espaço de tempo; ocorreu tendência ao acúmulo progressivo de sódio no solo pelo reúso de água; a forma tradicional de cultivo (irrigação com água combinada com adubação do solo com NPK – Nitrogênio, Fósforo e Potássio) apresentou a pior condição de contaminação potencial de água subterrânea, pelas altas concentrações de nitrato que foram encontradas na água percolada.

Henrique *et al.* (2005) avaliaram o desempenho da cultura do **pimentão**, desenvolvida em cinco diferentes tratamentos, sendo irrigados com efluente do reator UASB e efluente da lagoa de polimento, e comparando o desempenho destes com outros tratamentos: solo sem adubação e com adubação mineral e orgânica. Ficou evidente que os tratamentos adubados apresentaram maior produtividade, no entanto, não foi observada diferença significativa entre a média de produtividade dos tratamentos utilizando água de poço e solo com adubação (mineral e orgânica) e o irrigado com efluente de reator anaeróbico tipo UASB. A menor produtividade ocorreu com o tratamento em que a cultura foi irrigada com efluente de lagoa de polimento.

Azevedo *et al.*(2005) avaliaram a capacidade nutricional da água residuária tratada. A cultura escolhida para ser irrigada foi o **milho**. Comparando-se os tratamentos que receberam as mesmas doses de nitrogênio, mas tipo de água diferente entre si, verificou-se que a produção foi maior em todos os tratamentos com água residuária tratada, confirmando-se assim a característica de fertilização dos esgotos. Pereira *et al.*(2005) avaliaram os efeitos da fertirrigação na cultura do milho irrigada com águas residuárias provenientes de dois tratamentos: lagoa facultativa primária seguida de *wetland* e lagoa facultativa primária seguida de filtros rudimentares. Não foram verificadas diferenças significativas na produtividade do milho irrigado com os dois efluentes, o que pode ser explicado pelo fato de ambos os efluentes atenderem as necessidades nutricionais da cultura nas condições da pesquisa. O esgoto tratado mostrou-se vantajoso para a fertirrigação de milho, mesmo aplicado em solo arenoso, apresentando boa produtividade.

O experimento realizado por Perin *et al.* (2005) consistiu na irrigação de plantas de **feijão** com efluente tratado proveniente de uma lagoa de polimento. A análise dos resultados permitiu concluir que o efluente da lagoa de polimento encontra-se dentro dos padrões esperados para esse sistema de tratamento de esgoto e que a irrigação com o efluente da lagoa de polimento sem diluição proporcionou melhores resultados em relação ao tamanho, massa fresca e massa seca dos feijoeiros.

A **alface** destaca-se entre as hortaliças folhosas mais consumidas em todo o mundo e é de grande importância por ser fonte de vitaminas e sais minerais. Tavares *et al.* (2005) realizaram experiência de reúso direto de esgoto tratado em lagoas de

estabilização no cultivo da alface, avaliando a influência da irrigação com esgoto nos componentes de crescimento não destrutivo e na produção da hortaliça, com aplicação de água residuária e da adição da adubação orgânica. A maior produtividade e valores das variáveis não destrutivas foram encontrados nas alfaces produzidas sob irrigação com a água residuária e adubação orgânica.

3.6.4 Cultura da Melancia

A melancia é uma planta rasteira, com folhas triangulares e trilobuladas e flores pequenas e amareladas, gerando um fruto arredondado ou alongado, de polpas vermelhas e doces, com alto teor de água (cerca de 90%) e diâmetro variável entre 25 e 75 cm. A casca é verde e lustrosa, com estrias de verde-escuro no sentido do comprimento.

Frutos de melancia são classificados de acordo com o peso, em grandes (quando pesam mais de 9 kg), médios (entre 6 e 9 kg) e pequenos (quando pesam menos de 6 kg); aqueles com peso acima de 7 kg obtêm os melhores preços (Alvarenga e Resende, 2002 *apud* Resende e Costa, 2003).

A melancia é cultivada na maioria dos países. No Nordeste Brasileiro, tem grande importância sócio-econômica, por ser cultivada principalmente por pequenos agricultores, com ou sem irrigação, devido ao seu fácil manejo e menor custo de produção, quando comparada com outras culturas. Seus frutos são utilizados tanto na alimentação humana como animal. Em algumas regiões, as sementes são consumidas tostadas e dessas pode-se extrair um óleo de boa qualidade. A casca do fruto pode ser usada na fabricação de doce, bem como na alimentação de alguns animais, tais como patos, galinhas e porcos (MIRANDA *et al.*, 1997 *apud* DIAS, 2001).

No Ceará, tem aumentado o interesse pelo cultivo da melancia por parte dos agricultores, devido à boa aceitação da fruta no mercado local e o rápido retorno econômico, destacando-se entre outras culturas.

O cultivo da melancia ocorre sob condições de chuva e sob irrigação. No Nordeste Brasileiro o cultivo de sequeiro (sem irrigação) é encontrado na agricultura

tradicional, em que a melancia é plantada consorciada com outras espécies (MIRANDA *et al.*, 1997 *apud* DIAS, 2001).

A cultura da melancia pode ser irrigada por vários sistemas de irrigação, dependendo de fatores técnicos, econômicos e sociais, podendo-se citar: recursos hídricos, solo, topografia, fonte de energia, clima, condições econômicas do agricultor e qualificação da mão de obra. A irrigação por sulcos é bastante difundida e apresenta bons resultados. O método de irrigação por gotejamento tem sido muito difundido, proporcionando boa produtividade para os frutos.

Sousa *et al.* (1995) *apud* Resende e Costa (2003) recomendam que nos plantios irrigados por sulco ou gotejamento, o espaçamento varie de 2,50 a 3,00 x 0,70 a 1,00 m, deixando-se apenas uma planta por cova.

Na cultura de melancia, em locais onde ocorre a sazonalidade de precipitações, o uso da irrigação é essencial para a produção e obtenção de altas produtividades e de frutos com boa qualidade e tamanho, especialmente durante o período seco. Normalmente, utiliza-se a irrigação por sulcos ou aspersão. Porém, trabalhos de pesquisa mostram que a irrigação por gotejamento permite obter produções elevadas, com baixa incidência de doenças, além de facilitar o controle de plantas daninhas e a aplicação de fertilizantes (MIRANDA *et al.*, 1997 *apud* DIAS, 2001).

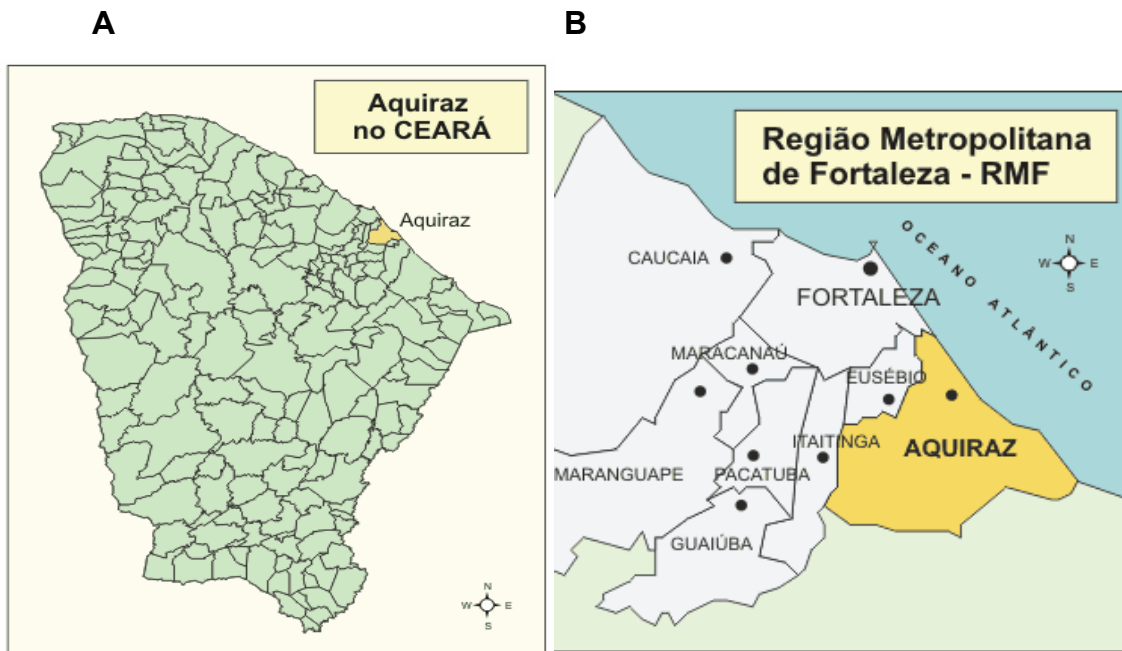
A melancia tem sua produção comprometida quando o déficit hídrico ocorre no período de frutificação até o início da maturação. No período de maturação até a colheita, a exigência hídrica é bem menor, enquanto que o excesso de água ocasiona a rachadura dos frutos, presença de frutos insípidos e podridões (CASALI *et al.*, 1982).

4. METODOLOGIA

4.1 Localização

O experimento foi realizado no período de setembro a dezembro de 2005 no Centro de Pesquisa sobre Tratamento de Esgoto e Reúso de Águas, da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), situado no município de Aquiraz, Região Metropolitana de Fortaleza, Estado do Ceará.

O município de Aquiraz situa-se na região Nordeste do Estado do Ceará, a 21 km de distância da capital do Estado do Ceará (Figura 2). As coordenadas geográficas de referência do município são: 3°54'05" de Latitude (S) e 38°23'28" de Longitude (W). Aquiraz limita-se, ao Norte, com o oceano Atlântico e com os municípios de Fortaleza e Eusébio. Ao Sul, com os municípios de Horizonte, Cascavel e Pindoretama. Ao Leste, com o oceano Atlântico e, ao Oeste, com os municípios de Eusébio, Itaitinga e Horizonte. A sede do município tem uma área de 480,976 km² e encontra-se a 14,2 m acima do nível do mar (IPLANCE, 2004).



Fonte: <http://www.aquiraz.ce.gov.br/mapas.asp>

FIGURA 2 – Localização do município de Aquiraz no Estado do Ceará (A) e na RMF (B).

4.2 Caracterização do local do experimento

O clima no município é tropical quente sub-úmido, com chuvas no período de janeiro a maio e precipitação média anual de 1379,9 mm (IPLANCE, 2004). Segundo dados da FUNCEME (2005), a temperatura média do local está entre 26°C e 28°C. O índice de umidade do solo é em torno de 25% e o índice de aridez em torno de 41%.

Segundo dados do IPLANCE (2004), o relevo do município de Aquiraz é constituído de planície litorânea e tabuleiros pré-litorâneos. A vegetação é composta por um complexo vegetacional da Zona Litorânea.

Na Figura 3 tem-se o *layout* do Centro de Pesquisa sobre Tratamento de Esgoto e Reúso de Águas. Neste centro de pesquisa, outras culturas foram cultivadas e houve o reúso tanto para irrigação como para piscicultura.

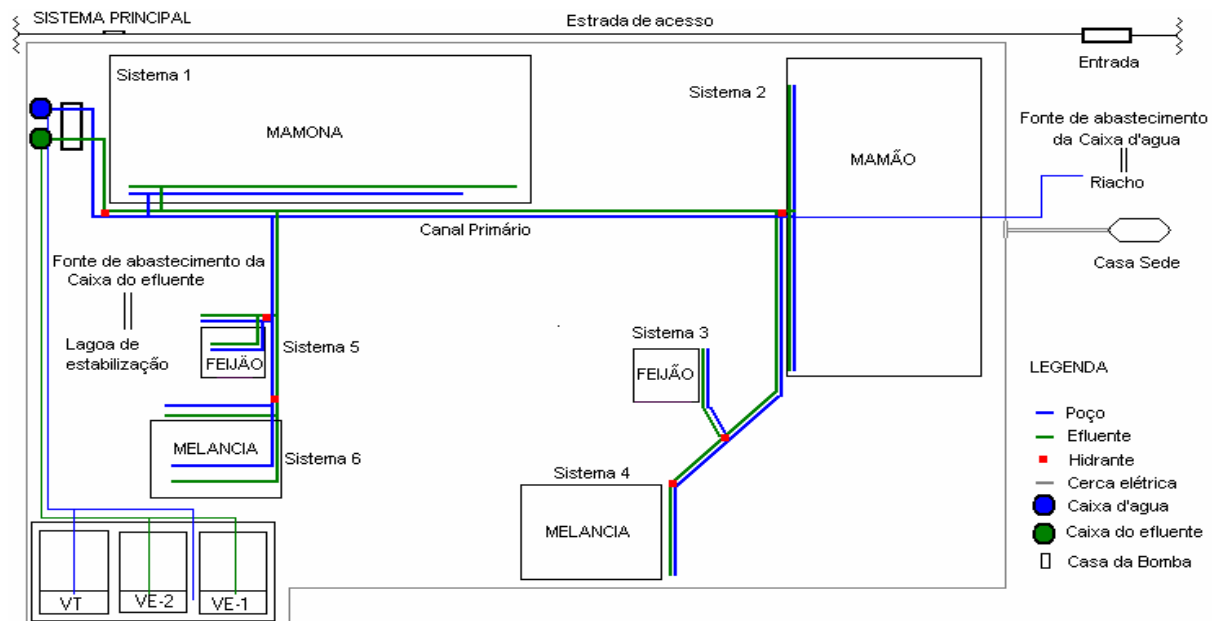


FIGURA 3- Layout do Centro Experimental de Reúso em Irrigação e Piscicultura. Especial atenção para os sistemas 4 (gotejamento) e 6 (sulco), focos da presente dissertação.

4.3 Caracterização da área de plantio

O solo da área do centro de pesquisa era uniforme, o qual foi classificado como Argissolo acinzentado eutrófico com textura arenosa. O preparo do solo constou de aração, gradagem, calagem e incorporação de matéria orgânica.

A cultura utilizada no experimento foi a melancia (*Citrillus lanatus*), variedade *Crimson Sweet*. A cultura foi irrigada pelos métodos de irrigação por gotejamento e sulcos num espaçamento de 2,0 x 1,0 m. O experimento foi em blocos ao acaso com quatro tratamentos e quatro repetições. Nas Figuras 4 e 5 estão representadas as distribuições espaciais da área do experimento da melancia irrigada por gotejamento e da área do experimento irrigada por sulco, respectivamente. Nas áreas há também linhas de bordadura, que são fileiras plantadas nas bordas dos blocos para proteção do experimento. Nestas fileiras não houve colheita de frutos para estudo. Os tratamentos testados foram:

T1: Testemunha absoluta: irrigação com água do poço mais adubação.

T2: Irrigação com efluente mais adubação.

T3: Irrigação com efluente sem adubação.

T4: Irrigação com efluente mais a metade da adubação utilizada em T1 e T2.

A adubação utilizada na melancia foi o KCl (cloreto de potássio) e NH_4SO_4 (sulfato de amônia), aplicados nas covas feitas ao redor dos frutos, de acordo com o planejamento e quantificação estabelecidos para a situação. As quantidades e concentrações foram estabelecidas de acordo com a análise de solo.

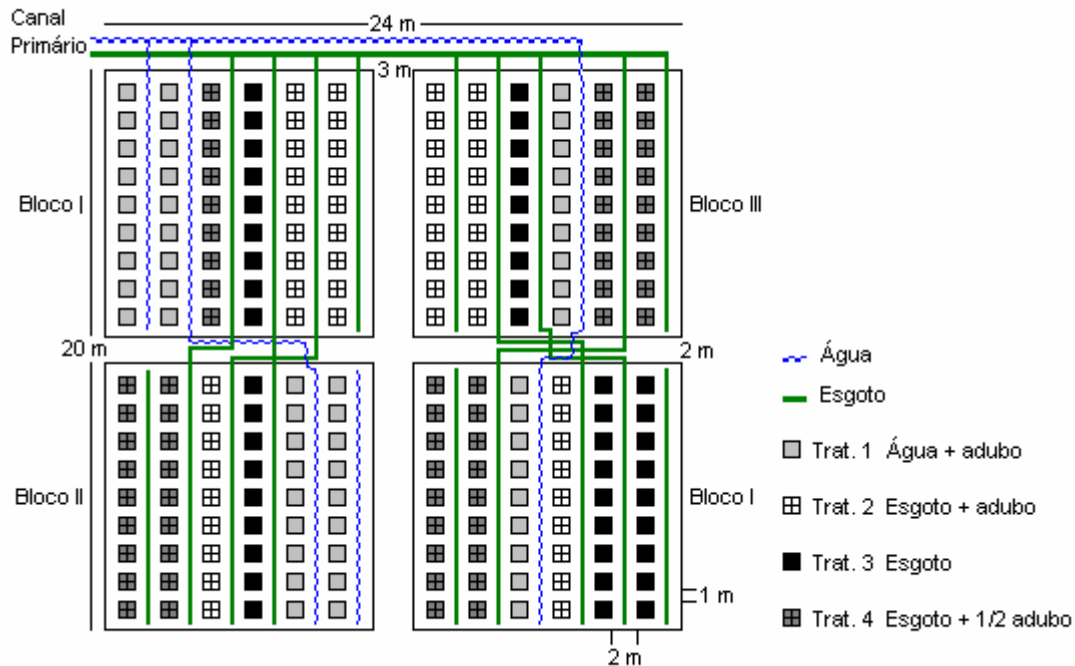


FIGURA 4- Distribuição espacial da área experimento da melancia irrigada por gotejamento.

Melancia - Sulco

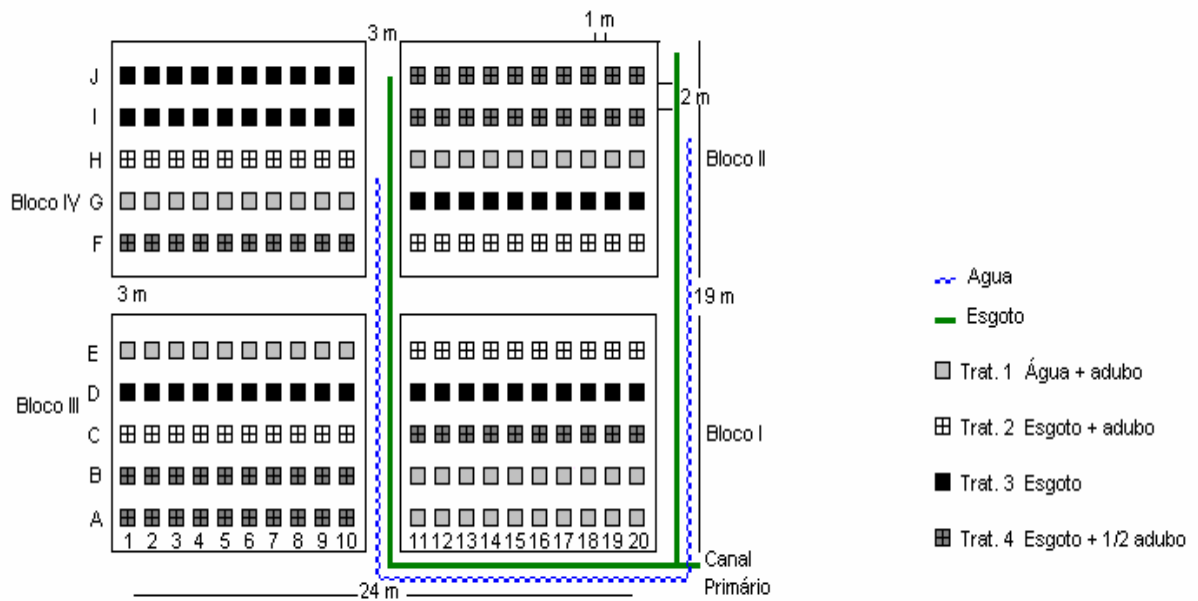


FIGURA 5- Distribuição espacial da área experimento da melancia irrigada por sulco.

O preparo das mudas foi realizado no Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Ceará e, após 10 dias, foram transplantadas para o Centro de Pesquisa.

A irrigação do sistema de gotejamento e do sistema de sulcos foi diária com tempo de irrigação de 3 h e 30 min, o qual foi calculado a partir da evaporação média do local do experimento, obtida a partir da utilização do tanque classe A. O período de setembro a dezembro, no município de Aquiraz, foi de elevada evaporação, tendo-se que a irrigação garantiu o suprimento da necessidade de água das plantas. Nenhuma precipitação foi registrada pelo pluviômetro durante o período do experimento.

Nas Fotos 1 e 2 são mostradas as áreas onde houve cultivo da melancia irrigada por gotejamento e por sulco.



FOTO 1 – Área do cultivo da melancia irrigada por gotejamento. Aquiraz, Ceará, setembro/2005.



FOTO 2 – Área do cultivo da melancia irrigada por sulco. Aquiraz, Ceará, novembro/2005.

4.4 Captação das águas de irrigação

Devido à falta de precipitações durante o período do experimento, o riacho existente no centro de pesquisa encontrava-se com pouca quantidade de água. Desta forma, a água bruta foi captada em dois locais distintos, o riacho e um poço profundo. As águas eram misturadas e não foi determinada proporção exata dessa mistura. Também não foram feitas análises para amostra de água de cada fonte. Portanto, todas as análises foram feitas com amostras da água misturada das duas fontes do centro de pesquisa.

A Estação de Tratamento de Esgoto de Aquiraz é composta de dois sistemas paralelos de lagoas de estabilização, cada um constituído de uma lagoa anaeróbia, uma lagoa facultativa e duas lagoas de maturação, as dimensões de cada lagoa podem ser observadas na Tabela 8.

TABELA 8 – Dimensões das lagoas de estabilização do sistema de lagoas de Aquiraz, Ceará.

Lagoa	Profundidade (m)	Dimensões do fundo (m)
Anaeróbia	3,0	86,7 x 40,7
Facultativa	1,5	192,7 x 95,5
Maturação A	1,5	154,0 x 72,0
Maturação B	1,5	153,7 x 71,7

O esgoto tratado era coletado na última lagoa de maturação de uma das séries do sistema de lagoas de estabilização. As estações de bombeamento E-1 e E-2 foram construídas para que o esgoto fosse recalcado para as áreas de irrigação. A água de poço era recalcada a partir da estação de bombeamento E-3 para as áreas de irrigação. As características das estações de bombeamento do centro de pesquisa podem ser observadas na Tabela 9.

TABELA 9 – Características das estações e bombeamento do centro de pesquisa de Aquiraz, Ceará.

Características	Estação de Bombeamento		
	EB – 1	EB -2	EB -3
Número de bombas	02 (1 de reserva)	02 (1 de reserva)	02 (1 de reserva)
Tipo	Centrífuga eixo horizontal	Centrífuga	Centrífuga
Vazão	2,48 L/s	1,73 L/s	1,73 L/s
Altura manométrica	12,00	37,00 m	39,00 m
Potência	1,50 CV	2,50 CV	2,50 CV

Após a captação, as águas eram bombeadas para dois reservatórios de fibra de vidro com capacidade de 10.000 L, cada unidade (Fotos 3, 4 e 5). Para evitar o entupimento no sistema de irrigação por gotejo devido à alta concentração de sólidos na água, foram colocados dois filtros (Foto 6) antes da entrada do reservatório.

**FOTO 3** – Captação da água no riacho do Centro de Pesquisa



FOTO 4 – Captação do Esgoto na Lagoa de Estabilização



FOTO 5– Casa de Bomba e um dos Reservatórios (esgoto).



FOTO 6 – Filtros instalados antes do reservatório de água.

4.5 Análises realizadas

4.5.1 Aspectos sanitários

Foi feito o monitoramento da água bruta e do esgoto utilizados na irrigação durante todo o período de experimento. As amostras foram coletadas nas saídas dos reservatórios, entre 9 e 10 horas. Os parâmetros monitorados *in loco* foram pH, condutividade elétrica, temperatura e oxigênio dissolvido (semanal). Para estas determinações foram utilizados equipamentos portáteis: pHmetro (Analion, modelo PM602), condutivímetro (Analion, modelo C702) e oxímetro (YSI, modelo 55).

Os demais parâmetros físico-químicos e microbiológicos das águas de irrigação foram determinados no Laboratório de Saneamento da UFC (Universidade Federal do Ceará), conforme a metodologia descrita no *Standard Methods* (APHA, 1995). Os parâmetros analisados foram:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), pelo Método dos tubos padrões (titulação com tiosulfato de sódio);
- Demanda Química de Oxigênio (DQO), pelo Método colorimétrico com dicromato de potássio (espectrofotométrico);
- Cloreto, pelo Método de Mohr (titulométrico com AgNO_3);
- Amônia, pelo Método da destilação (titulação com ácido);
- Fósforo Total, pelo Método do ácido ascórbico (espectrofotométrico);
- Sólidos, pelo Método gravimétrico;
- Sólidos sedimentáveis, pelo Método do cone Imhoff;
- Alcalinidade, pelo Método Potenciométrico (titulação com H_2SO_4);
- Sódio, Cálcio e Magnésio;
- Ovos de Helminthos, pelo Método Bailenger modificado.
- *E. coli*, pelo Método Cromogênico colilert.

4.5.2 Aspectos agronômicos

Quanto aos aspectos agronômicos, foi realizada a verificação da produtividade da cultura. No campo, foram obtidos os dados de peso, comprimento, diâmetro e °Brix dos frutos. Para determinar o peso dos frutos foi utilizada uma balança. Na determinação de comprimento utilizou-se uma trena. Os diâmetros do fruto e da polpa foram obtidos partindo-se o fruto ao meio e medidos com o auxílio de uma trena. Os teores de sólidos solúveis totais (°Brix) foram determinados com o auxílio de um refratômetro de campo. Esses dados foram analisados, indicando a produtividade da cultura para os diferentes tratamentos. Foram realizadas três colheitas, nos dias: 22 e 29 de novembro e 12 de dezembro de 2005.

4.5.3 Qualidade do produto final

Após o período de cultivo, de setembro a dezembro de 2005, os frutos foram colhidos e transportados para os laboratórios da Embrapa Agroindústria Tropical, onde foram avaliados quanto aos aspectos físico-químicos, microbiológicos e sensoriais.

4.5.3.1 Caracterização microbiológica das amostras

O preparo das amostras e as análises microbiológicas foram realizados conforme metodologia da American Public Health Association (APHA, 1985).

4.5.3.1.1 Preparo das diluições

Para a primeira diluição, 10^{-1} , pesou-se 25g da polpa de melancia; homogeneizou-se por dois minutos em liquidificador, contendo 225mL de água peptonada estéril. A partir desta diluição foram preparadas diluições decimais até 10^{-3} .

4.5.3.1.2 Determinação do número mais provável de coliformes totais e fecais

Para a determinação do número mais provável de coliformes totais, selecionou-se três diluições adequadas da amostra e, com uma pipeta de, no máximo, 10 mL, inocula-se uma série de três tubos de Caldo Lauril Sulfato Triptose (LST) por diluição, adicionando-se 1,0 mL da diluição por tubo com 10 mL de LST. Os tubos de LST foram incubados a 35° C por 24 horas e observou-se o crescimento com produção de gás. Se não houver crescimento e produção de gás, deve-se reincubar até completar 48 horas e repetir a leitura. Todos os tubos de LST com produção de gás foram transferidos para tubos de Caldo Verde Brilhante Bile (VB). Incubou-se a 35°C por 24-48 horas e observou-se se houve crescimento com produção de gás. Anotou-se o número de tubos de VB com gás, confirmativo da presença de coliformes totais e determinou-se o Número Mais Provável (NMP)/g em uma tabela de NMP apropriada às diluições inoculadas (SILVA, 1997).

Para a contagem de coliformes fecais, os tubos de LST com produção de gás foram transferidos (uma alçada bem carregada de cada cultura) para tubos de caldo *E. coli* (EC). Incubou-se em banho-maria a 45,5°C por 24 horas e observou-se o crescimento com produção de gás. Anotou-se o número de tubos de EC com produção de gás, confirmativo da presença de coliformes fecais e determinou-se o NMP/g em uma tabela de NMP adequada às diluições inoculadas (SILVA, 1997).

Para a contagem de *E. coli*, estriou-se uma alçada da cultura em placas de Ágar Eosina Azul de Metileno (EMB) de cada tubo de EC com produção de gás em 24h ou 48h. Incubou-se as placas a 35°C por 24 horas e observou-se se houve desenvolvimento de colônias típicas de *E. coli* (nucleadas com centro preto, com ou sem brilho metálico). No caso de existir colônias típicas, deve-se transferir duas colônias bem isoladas de cada placa, para tubos de Ágar Padrão para Contagem (PCA) inclinados e os tubos devem ser incubados a 35°C por 24 horas. A partir das culturas puras em PCA, fazer coloração de Gram e inocular os meios teste (Teste de citrato, Teste de indol e Teste de vermelho de metila e Voges-Proskauer, caldo VM-VP), para realização de bioquímicas de indol, VM, VP e citrato (SILVA, 1997).

4.5.3.1.3 Pesquisa de *Salmonella*

Para a determinação da presença de *Salmonella sp.*, foi feita a homogeneização da amostra e seu pré-enriquecimento. O pré-enriquecimento em caldo não seletivo objetiva a recuperação de células injuriadas, conseguida incubando-se a amostra em condições não seletivas, por pelo menos 18 horas. A APHA recomenda caldo lactosado. Após incubação da amostra a 35°C por 18-20 horas, procede-se ao enriquecimento em caldo seletivo, que objetiva inibir a multiplicação da microbiota acompanhante e promover a elevação preferencial do número de células de *Salmonella sp.*, incubando-se a amostra pré-enriquecida em caldo seletivo, por 18 a 24 horas. Nesta etapa recomenda-se a utilização de dois diferentes meios de enriquecimento, porque a resistência de *Salmonella* aos agentes seletivos varia de cepa para cepa. Os meios comumente utilizados são o caldo tetracionato e o caldo seletivo cistina. Então, é feito o plaqueamento seletivo diferencial, que objetiva promover o desenvolvimento

preferencial de colônias de *Salmonella*, com características típicas que as distingam dos competidores, para posterior confirmação sorológica e bioquímica. Assim como na etapa do enriquecimento seletivo, recomenda-se que o plaqueamento diferencial seja feito em mais de um tipo de meio de cultura, havendo diversos meios, disponíveis para utilização nesta etapa. A APHA recomenda o Ágar Bismuto Sulfito (BS), o Ágar Entérico de Hectoen (HE) e o Ágar Xilose Lisina Desoxicolato (XLD). A etapa de confirmação objetiva verificar se as colônias típicas obtidas nas placas são realmente colônias de *Salmonella*, através de provas bioquímicas e sorológicas. Inicialmente as colônias são submetidas aos testes de descarboxilação da lisina, fermentação da lactose e/ou sacarose e produção de H₂S, no Ágar Lisina Ferro e Ágar Tríplice Açúcar Ferro, que permitem eliminar das etapas subseqüentes boa parte das colônias de não *Salmonella*. Culturas características nesses meios devem ser submetidas ao teste sorológico somático polivalente, podendo ser eliminadas das etapas subseqüentes todas aquelas com resultado negativo. Culturas com teste positivo ou duvidoso devem ser submetidas a uma bateria de testes bioquímicos adicionais, para confirmação definitiva da identidade (SILVA, 1997).

4.5.3.2 Caracterização físico-química das amostras

O preparo das amostras e as análises físico-químicas foram realizados conforme metodologia do Instituto Adolfo Lutz.

4.5.3.2.1 Determinação eletrométrica do pH

Para a determinação eletrométrica do pH, pesou-se 10g da amostra e transferiu-se para um Erlenmeyer de 250 mL, seco, com auxílio de 100 mL de água a 25°C, recentemente fervida. Agitou-se o conteúdo do frasco, até que as partículas estivessem uniformemente suspensas. O líquido sobrenadante foi decantado para um frasco seco e foi determinado o pH eletrometricamente (PREGNOLATTO, 1985).

4.5.3.2.2 Determinação da acidez total

Para determinação da acidez, pesou-se 1 g da amostra em um vidro de relógio e transferiu-se para um frasco Erlenmeyer de 125 mL, com auxílio de 50 mL de água. Adicionou-se duas gotas de indicador fenolftaleína. Titulou-se com solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 N, até coloração rósea (PREGNOLATTO, 1985).

A acidez em solução normal por cento é igual a: $\frac{V_x f x 100}{P x c}$

onde:

V = número de mL da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 N gasto na titulação

f = fator da solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0,01 N.

P = número de gramas da amostra usado na titulação

c = correção para solução de NaOH 1 N (c = 10, para solução NaOH 0,1 N c = 100, para solução NaOH 0,01 N)

4.5.3.2.3 Determinação de graus brix por refratometria

Para a determinação do grau brix, homogeneizou-se a amostra e transferiu-se de 1 a 2 gotas para o prisma do refratômetro, desprezando partículas grandes de polpa. Os graus brix foram lidos na escala do aparelho, corrigindo-se os graus brix em relação à temperatura, de acordo com uma tabela (PREGNOLATTO, 1985).

4.5.3.3 Avaliação sensorial

Para a análise sensorial, as amostras de melancia foram avaliadas através dos testes de Diferença do Controle (MEILGAARD *et al.*, 1987) e Teste Triangular (PERYAN e SWARTZ, 1950), para avaliar diferença de sabor e o grau desta diferença entre as amostras produzidas através de diferentes tratamentos, e analisar o efeito dos métodos de irrigação em relação ao sabor das amostras, respectivamente.

Para a avaliação do teste Diferença do Controle, as análises foram realizadas em cabines individuais, com luz branca. Havia vinte e quatro julgadores previamente

selecionados no local. Eles foram orientados a atribuir valores de 0 a 9, segundo o grau de diferença em relação à amostra-controle. Os dados foram coletados na ficha de avaliação ilustrada na Figura 6.

O Teste Triangular foi realizado entre os tratamentos 1 da irrigação por gotejo e por sulco. Para a aplicação do Teste Triangular, também realizado com vinte e quatro julgadores, as duas amostras diferentes (A = sulco e B = gotejamento) foram apresentadas em conjuntos de três, em todas as combinações possíveis:

AAB, ABA, ABB, BAB, BBA e BAA

As amostras foram cortadas em cubos e servidas em copinhos plásticos codificados com número de três dígitos, com um palito para levar a amostra à boca.

Cada julgador recebeu um conjunto de três amostras, sendo informado que duas amostras eram iguais e uma era diferente, e que ele deveria identificar a amostra diferente. Para limpar o paladar os julgadores foram orientados a beber água entre as amostras. Os dados foram coletados na ficha de avaliação ilustrada na Figura 7.

NOME: _____ DATA: _____
 ____/____/____

Você está recebendo uma amostra controle (C) quatro amostras codificadas. Prove a amostra controle e, em seguida, prove cada uma das amostras codificadas. Avalie, na escala abaixo, quanto cada amostra codificada difere, em termos globais, da amostra controle.

0 1 2 3 4 5 6 7 8 9

0 = nenhuma diferença
 9 = extremamente diferente

Amostra	Valor
_____	_____
_____	_____
_____	_____
_____	_____

Comentários: _____

FIGURA 6– Ficha sensorial utilizada para o teste de diferença do controle.

Nome _____ Data _____

Você está recebendo três amostras codificadas de melancia. Duas amostras são iguais e uma é diferente. Por favor, prove as amostras da esquerda para a direita e identifique, com um círculo, a amostra diferente.

721 536 117

Comentários _____

FIGURA 7– Ficha utilizada para o teste triangular.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Aspectos sanitários

5.1.1 Caracterização do efluente tratado e da água utilizados na irrigação

Os principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente da lagoa de estabilização e da água bruta, utilizados como águas de irrigação, estão mostrados na Tabela 10.

Os principais problemas relacionados à qualidade da água para irrigação referem-se aos riscos de salinização e redução da permeabilidade do solo. O maior efeito é similar em ambos os problemas – a redução do suprimento de águas às plantas. No caso da salinidade, a disponibilidade da água que atinge a zona radicular é comprometida pela dificuldade de absorção das plantas. No caso de problemas de infiltração, a própria quantidade de água que atinge a zona radicular é reduzida (BASTOS, 2003).

Na irrigação, a qualidade físico-química do efluente leva em consideração diversas variáveis que se refletem na produtividade e na qualidade das culturas, manutenção da produtividade do solo e a proteção do meio ambiente. A avaliação da qualidade da água para irrigação, seja natural ou efluente tratado, se baseia, principalmente, nos seguintes parâmetros: condutividade elétrica, razão de adsorção de sódio – RAS e o teor de boro (REICHARDT, 1990 *apud* ARAÚJO, 2000). Na Tabela 10, observam-se outros parâmetros que são importantes por afetarem a cultura e o solo.

Em relação aos valores de **pH**, observam-se valores médios próximos da neutralidade, tanto para a água (6,9) como para o esgoto tratado, sendo que o esgoto tem maior valor médio de pH (8,2), tendendo a ser básico. O pH é um índice que caracteriza o grau de acidez ou alcalinidade de um ambiente. No caso das águas de irrigação, o pH normal é entre 6,5 e 8,4. As águas com pH anormal podem criar desequilíbrios de nutrição ou conter íons tóxicos e pode comprometer o equipamento de irrigação, ocasionando deterioração do mesmo (AYERS e WESTCOT, 1991).

TABELA 10 - Valores médios dos principais parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água e do efluente da última lagoa de maturação. Aquiraz, Ceará, 2005.

Parâmetro	Ponto	n	média	desv pad	mín	máx	CV
pH	Água	26	6,9	0,9	5,4	9,7	0,13
	Esgoto tratado	26	8,2	0,9	7,2	10,2	0,11
Condutividade (µS/cm)	Água	25	328	188	162	860	0,57
	Esgoto tratado	25	827	180	533	1170	0,22
Sódio (mgNa⁺/L)	Água	6	34,6	26,4	16,1	87,4	0,76
	Esgoto tratado	6	88,7	17,0	66,7	117,3	0,19
Cálcio (mgCa⁺²/L)	Água	14	5,5	3,2	2,8	13,6	0,57
	Esgoto tratado	14	16,1	8,8	5,6	32,4	0,55
Magnésio (mg Mg⁺²/L)	Água	14	8,1	4,4	2,9	18,0	0,54
	Esgoto tratado	14	15,4	6,8	4,4	28,2	0,44
Alcalinidade (mg CaCO₃/L)	Água	23	36	23	13	81	0,66
	Esgoto tratado	23	150	35	117	273	0,23
Cloretos (mg Cl⁻/L)	Água	26	36	13	17	74	0,36
	Esgoto tratado	19	69	26	31	128	0,37
DBO (mg O₂/L)	Água	12	17	8	9	34	0,46
	Esgoto tratado	12	60	26	31	128	0,43
DQO não filtrada (mg O₂/L)	Água	24	50	33	17	169	0,67
	Esgoto tratado	24	161	55	85	307	0,34
DQO filtrada (mg O₂/L)	Água	22	17	18	1	88	1,07
	Esgoto tratado	24	77	33	28	183	0,43
ST (mg/L)	Água	16	172	44	120	246	0,26
	Esgoto tratado	17	537	103	362	700	0,19
SST (mg/L)	Água	17	15	11	4	41	0,76
	Esgoto tratado	17	66	21	26	101	0,31
STD (mg/L)	Água	17	159	42	109	238	0,27
	Esgoto tratado	17	471	105	272	616	0,22
Amônia (mg NH₃/L)	Água	18	0,3	0,2	0,1	0,7	0,65
	Esgoto tratado	18	5,0	4,0	0,1	12,3	0,80
Fósforo (mg P/L)	Água	18	0,3	1,2	0,0	5,0	4,24
	Esgoto tratado	20	3,4	1,2	0,4	5,5	0,36
Colif. Totais (NMP/100 mL)	Água	22	5,3E+03	8,4E+03	6,0E+02	3,2E+04	0,94
	Esgoto tratado	9	3,8E+04	5,2E+05	2,8E+03	1,6E+06	2,45
E. coli (NMP/100 mL)	Água	23	3,5E+02	4,8E+02	4,0E+01	2,3E+03	0,94
	Esgoto tratado	23	5,8E+02	8,8E+04	4,0E+01	4,2E+05	4,19
Ovos de Helminthos (Ovos/L)	Água	17	0	0	0	0	-
	Esgoto tratado	16	0	1	0	3	2,28
Turbidez (uT)	Água	11	11	6	4	19	0,50
	Esgoto tratado	11	91	37	39	171	0,41

n – número de amostras

CV – coeficiente de variância

Bastos (2003) também admite valores de pH entre 6,5 e 8,4 como dentro dos limites da normalidade para efluentes de diferentes tipos de tratamento. Conforme von Sperling (1996), o valor do pH influencia nos mecanismos das lagoas de estabilização, tanto na remoção de nitrogênio como na remoção de fósforo. Condições de pH elevados favorecem a maior presença de NH_3 (amônia livre) e a precipitação de fosfatos.

Outro parâmetro analisado foi a **condutividade elétrica**, cujos valores são cerca de 2-3 vezes maiores no esgoto tratado. Como se observa na Tabela 10, os valores médios de condutividade foram 328 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 827 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para a água e para o esgoto, respectivamente.

A elevada condutividade pode provocar efeitos negativos no desenvolvimento da cultura. Os valores normais de condutividade elétrica em água de irrigação estão entre 0-300 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (AYERS e WESTCOT, 1991). A salinidade da água pode ser medida indiretamente pela condutividade elétrica (CE_a). A condutividade elétrica da água representa sua capacidade de transmitir a corrente elétrica em função da presença de substâncias dissolvidas, principalmente inorgânicas, que se dissociam em cátions e ânions. Quanto maior a concentração iônica, maior a capacidade em conduzir corrente – maior a condutividade. Pode-se afirmar que a condutividade representa a concentração de íons, estando, portanto, associada à concentração de sólidos totais dissolvidos e à salinidade (BASTOS, 2003).

Apesar dos altos valores de condutividade para o esgoto, não se observou nenhuma queda de produtividade na cultura da melancia nem efeito nas propriedades físicas e químicas do solo. Entretanto, alguns autores atentam para os efeitos da salinidade a médio e longo prazo nos atributos físicos e químicos do solo, com a subsequente queda na produtividade da cultura.

Chaves *et al.* (2006a) na avaliação das alterações a curto prazo nos atributos físicos de um solo cultivado com feijão e irrigado com esgoto doméstico tratado em lagoas de estabilização, não verificaram diferenças significantes entre os tratamentos com água de poço e com esgoto. Este fato foi atribuído, principalmente, ao curto período de exposição às águas de irrigação. Entretanto, é esperado que, no longo

prazo, se perceba um maior impacto da prática da irrigação com esgoto doméstico tratado nas propriedades físicas do solo.

Em relação aos atributos químicos, Chaves *et al.* (2006b) não associaram possíveis alterações do solo à aplicação de esgoto sanitário tratado em lagoas de estabilização na irrigação do feijão. A curto prazo, não houve nenhuma alteração no solo devido à prática do reúso.

Alves (2005), estudando o efeito do reúso de efluentes de lagoas de estabilização na irrigação da cultura do coqueiro, não verificou qualquer efeito em queda de produtividade, nem mesmo após 20 anos de reúso.

Os valores de **RAS** calculados para a água e o esgoto tratado foram, respectivamente: 3,1 e 5,3. Segundo Ayers e Westcot (1991), os valores normais de RAS encontrados para água de irrigação estão entre 0-15. Observa-se que os valores de RAS para água e para o esgoto encontram-se neste intervalo.

É muito importante a relação entre os cátions Na, Ca e Mg para a avaliação da qualidade da água de irrigação e a razão de adsorção de sódio (RAS) expressa essa relação.

Segundo Nuvolari (2003), teores relativamente altos de **sódio (Na)**, ou baixos de **cálcio (Ca)** no solo e na água, reduzem a velocidade com que a água de irrigação penetra no solo. Esta redução pode alcançar magnitude tal, que as raízes das plantas não recebem água suficiente e como consequência haverá um mau desenvolvimento e má produção da cultura. Para a avaliação da qualidade da água, calcula-se o valor da RAS, que também inclui o teor de **magnésio (Mg)**. Segundo Bastos (2003):

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

onde:

Na = teor de sódio na água de irrigação (meq/L);

Ca = teor de cálcio na água de irrigação ou em equilíbrio na solução do solo (meq/L);

Mg = teor de magnésio na água de irrigação (meq/L).

Araújo (2000) explica que altas concentrações de sódio na água de irrigação provocam uma substituição no solo, dos íons cálcio e magnésio pelo íon sódio, e desenvolvem uma condição de solo com pouca drenagem interna, diminuindo sua permeabilidade à água e provocando um desequilíbrio de Na com relação a Ca e Mg, que também têm efeitos nutricionais.

Alves (2005) encontrou em seu experimento um menor valor de RAS para o seu efluente de lagoas de estabilização usado para irrigação do coqueiro. O valor médio de RAS para o efluente foi de 2,7.

Ainda que não esteja definitivamente comprovado, pode-se inferir que as águas de irrigação com excesso de magnésio ($\text{Ca/Mg} < 1$) podem produzir sintomas de deficiência nas plantas, caso não haja no solo suficiente cálcio para contrabalancear seus efeitos (AYERS e WESTCOT, 1991).

Foram encontrados baixos valores médios de **cloreto** (Tabela 10), tanto para água (36mgCl/L) como para o esgoto tratado (69 mgCl/L), não ocasionando problemas para a cultura da melancia.

A toxicidade provocada pelo íon cloreto contido na água de irrigação é a mais freqüente. O cloreto não é retido ou adsorvido pelas partículas do solo, através do qual se desloca facilmente com a água deste, porém é absorvido pelas raízes e translocado às folhas, onde se acumula pela transpiração, sendo este problema mais intenso nas regiões de climas mais quentes, onde as condições ambientais favorecem uma alta transpiração; dependendo do tipo de irrigação a ser utilizado, também pode ocorrer maior ou menor intensidade de absorção de cloreto. Se sua concentração excede a tolerância da planta, podem causar uma redução das taxas de crescimento e produzir danos com seus sintomas característicos, como necrose e queimaduras nas folhas (AYERS e WESTCOT, 1991).

Segundo Nuvolari (2003), a sensibilidade das culturas ao cloreto é variável. As fruteiras, por exemplo, começam a mostrar sintomas de danos à concentração de 0,3 % de cloreto, em base de peso seco. A toxicidade do cloreto também pode ocorrer por absorção direta através das folhas das culturas irrigadas por aspersão.

Percebem-se baixos valores de **DBO**, para a água um valor médio de 17 mgO₂/L e para o esgoto tratado o valor médio de 60 mgO₂/L. A DBO é a quantidade de oxigênio

dissolvido, necessária aos microrganismos, na estabilização da matéria orgânica em decomposição, sob condições aeróbias. Num efluente, quanto maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável maior é a DBO (NUVOLARI, 2003).

No estudo realizado por Araújo (2000) na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), percebe-se valores de DBO em torno do encontrado neste trabalho, sendo estes menores quando o sistema de tratamento de esgoto é constituído por mais de 3 lagoas. Para sistemas de tratamento de esgotos compostos por 5 lagoas em série, o valor médio de DBO foi 30 mgO₂/L.

Pivelli *et al.* (2005), na caracterização do efluente de lagoas de estabilização, encontraram valor médio de DBO de 67 mgO₂/L, sendo o valor máximo de DBO (118 mgO₂/L) menor que o observado na Tabela 10 (máximo de 128 mgO₂/L).

Os valores de **DQO** também são reduzidos, os valores médios para a água e para o esgoto tratado são, respectivamente, 50 mgO₂/L e 161 mgO₂/L. O teste de DQO (Demanda Química de Oxigênio) visa medir o consumo de oxigênio que ocorre durante a oxidação química de compostos orgânicos presentes numa água. Os valores obtidos são uma medida indireta do teor de matéria orgânica presente (NUVOLARI, 2003).

Pivelli *et al.* (2005), na caracterização do efluente de lagoas de estabilização, observaram um valor médio de DQO de 227 mgO₂/L. Sousa *et al.* (2005b) obtiveram um valor de DQO bem menor para esgoto tratado num reator UASB e pós-tratado em lagoas de polimento. O efluente final apresentou um valor médio de DQO de 92 mgO₂/L. Parte dessa DQO era devido a massa de algas produzida durante a fotossíntese. A matéria orgânica contida no efluente utilizado para irrigação favorecerá a capacidade do solo de armazenar umidade, fixar e reter fósforo e nitrogênio, aumentando, ainda, a capacidade de troca de cátions (CTC).

Os valores de **nitrogênio** e **fósforo** estão abaixo dos valores de efluentes de lagoas de estabilização registrados na literatura. Provavelmente, isso ocorreu devido ao sistema de coleta de esgotos ser recente e com poucas ligações à rede (aproximadamente 15%), em que a água de infiltração na rede dilui o esgoto sanitário bruto.

Na Tabela 10 observa-se, para a água, o valor da concentração média de amônia de 0,3 mgNH₃/L e, para o esgoto tratado, de 5,0 mgNH₃/L. Pivelli *et al.* (2005) observaram valores bem maiores para um efluente de lagoas de estabilização, um valor médio de 25,48 mgNH₃/L e um valor máximo de 54,88 mgNH₃/L.

Os valores da concentração de fósforo para a água e para o esgoto tratado foram, respectivamente, 0,3 mgP/L e 3,4 mgP/L. Para o efluente de lagoas de estabilização caracterizado por Pivelli *et al.* (2005) o valor médio da concentração de fósforo observado foi de 4,1 mgP/L.

Apesar de o nitrogênio ser um dos elementos mais abundantes na natureza, no solo é um elemento muito dinâmico, de comportamento muito difícil de prever. Ao mesmo tempo, a demanda de nitrogênio pelas plantas não é uniforme ao longo de seu período de crescimento. Nos períodos iniciais de crescimento e nas fases finais do ciclo produtivo, a necessidade de nitrogênio não é tão alta, assim, as frações existentes naturalmente nos solos conseguem suprir a demanda (BASTOS, 2003).

O fósforo, dentre os nutrientes, é o que apresenta os maiores problemas durante aplicação por meio da água de irrigação. Ao contrário do nitrogênio e do potássio, é prontamente fixado na maioria dos solos, variando com a forma do fertilizante, a textura do solo, o pH do solo e o pH do fertilizante. A mobilidade do fósforo no solo é muito restrita em razão de sua forte retenção por óxidos do solo (principalmente de ferro, alumínio e manganês) e minerais de argila (BASTOS, 2003).

Observa-se uma maior concentração de **sólidos suspensos totais, turbidez** e alguns **sais inorgânicos** no esgoto sanitário tratado, quando comparado à água bruta. Entretanto, não se verificaram problemas de entupimentos no sistema de gotejadores, mostrando que o entupimento dos gotejadores não representou empecilho à utilização deste sistema. É importante ressaltar que os filtros de disco instalados nas linhas dos sistemas de irrigação por gotejamento evitaram os entupimentos dos gotejadores.

Os valores observados na Tabela 10 para ***E.coli*** (coliformes fecais) e **ovos de helmintos** estão dentro do permitido, segundo a Organização Mundial de Saúde – OMS, para utilização em irrigação irrestrita. De acordo com a Tabela 6, o número mais provável de coliformes fecais/100mL deve ser, para irrigação de culturas a serem ingeridas cruas, até 1.000. Pela análise dos resultados (Tabela 10), encontra-se para a água de poço o valor médio de 350NMP/100mL e para a água residuária o valor médio de 580NMP/100mL. Em relação aos ovos de helmintos, tem-se que a água de irrigação deve ter o número de ovos por litro menor ou igual a 1. Não foram encontrados ovos de helmintos nem para a água de poço e nem para a água residuária.

Conforme pode-se perceber em relação aos aspectos sanitários, houve a caracterização das águas de irrigação, no intuito de observar a presença de ovos de helmintos e coliformes fecais.

Segundo Bastos (2003), a caracterização do efluente é indispensável para orientar a seleção de culturas, minimizar os riscos potenciais à saúde humana, estimar seu potencial fertilizante, orientar o manejo da irrigação, planejar o monitoramento do sistema solo-planta e planejar as operações de manutenção do sistema de irrigação (funcionamento de bombas, prevenção de entupimentos, dentre outros).

De acordo com a NBR 13.969/97 da ABNT, não deve ser permitido o uso, mesmo desinfetado, de esgoto tratado, para irrigação de hortaliças e frutas de ramos rastejantes, como melão e melancia. No experimento foi utilizada a cultura da melancia irrigada com esgoto, mesmo havendo esta norma da ABNT.

No entanto, a Organização Mundial de Saúde (OMS) admite o uso de esgotos, e recomenda os parâmetros necessários para irrigação irrestrita. O estudo seguiu as diretrizes da (OMS), investigando uma possível contaminação dos frutos, através de análise microbiológica.

Segundo Bastos (2003), a ordem crescente de resistência à inativação por agentes desinfetantes apresenta-se da seguinte forma: as bactérias, os vírus, os cistos de protozoários e os ovos de helmintos. Em processos de tratamento de esgotos, em geral, bactérias e vírus são inativados pela ação de desinfetantes, enquanto cistos de protozoários e ovos de helmintos são removidos por filtração ou sedimentação. Na realidade, os coliformes só servem como indicadores da inativação de bactérias

patogênicas. Em lagoas de estabilização a remoção de ovos de helmintos (nematóides intestinais humanos – *Ascaris*, *Trichuris*, *Necator* e *Ancylostoma*) tem sido aceita como indicadora da remoção dos demais “organismos sedimentáveis” como cistos de protozoários, devido ao processo de sedimentação que ocorre nas lagoas.

Em estudo realizado na Universidade Federal de Viçosa, houve a caracterização do esgoto utilizado na irrigação de culturas (alface, couve, espinafre, rúcula e pimentão). O efluente do sistema de tratamento, composto por três lagoas de estabilização em série, apresentou como resultado o valor de 67 org/100mL para *E.coli*, aceitável para irrigação irrestrita. De acordo com esse estudo, lagoas de estabilização bem projetadas e operadas podem alcançar elevada eficiência de remoção de coliformes, produzindo efluentes de acordo com os critérios da OMS. (BASTOS, 2003).

Experimento realizado por Figueredo *et al.* (2005) teve como objetivo avaliar as características microbiológicas e parasitológicas de efluentes tratados utilizados na irrigação da cultura do quiabeiro. Os tratamentos de esgoto incluíram lagoas de estabilização, reator UASB e Leito de Brita. Os resultados demonstraram que os efluentes oriundos da lagoa estavam isentos de ovos de helmintos e cistos de protozoários, e apenas o efluente da lagoa apresentou qualidade sanitária para irrigação irrestrita.

Kaczala *et al.* (2005), caracterizando o efluente de um sistema de tratamento de esgoto constituído por fossa séptica, filtro anaeróbio e zona de raízes, que constitui o polimento final do tratamento, observaram que a zona de raiz obteve resultados satisfatórios para as categorias B e C quanto a quantidade de *E. coli*, justamente pelo fato de não apresentarem limites quanto a este parâmetro. O tratamento realizado pelo sistema não obteve um efluente de qualidade que possa irrigar culturas consumidas cruas.

5.2 Aspectos agronômicos

Foram analisadas medidas que indicam a produtividade da cultura da melancia, avaliada por meio do parâmetro “somatório do peso dos frutos”. Acrescentam-se a estes as medidas de comprimento e diâmetro dos frutos. Também foi realizada análise dos valores de grau Brix dos frutos colhidos. Este parâmetro físico-químico representa os valores do teor de sólidos solúveis da melancia.

5.2.1 Produtividade da cultura

Em relação a este parâmetro não houve comparação entre os sistemas de irrigação por sulcos e gotejamento, pois não houve produtividade satisfatória no sistema de sulcos.

A produtividade da cultura de melancia irrigada por gotejamento foi avaliada a partir do parâmetro “somatório do peso dos frutos”. Na Figura 8 estão mostrados os valores para cada tratamento realizado no experimento.

No bloco 4 da área do gotejo, a maioria das sementes não germinaram e não houve produtividade satisfatória nesse bloco, sendo somados os pesos dos frutos obtidos nos outros três blocos.

Acrescentam-se os valores do Grau Brix, das médias de comprimento, diâmetro da polpa e diâmetro do fruto, que também indicam a produtividade da melancia para cada tipo de tratamento, nas Figuras 9, 10, 11 e 12 estão indicados estes últimos valores para cada tratamento.

Os dados coletados em campo foram tabulados e, em seguida, submetidos às análises de variância e comparação das médias utilizando o teste de Tukey. Os testes estatísticos foram realizados pelo sistema SISVAR versão 4.6.

Os resultados da análise de variância das variáveis estudadas são apresentados na Tabela 11. Pode-se perceber que não houve diferença significativa em todas as variáveis ao nível de 5% e 1% no teste de Tukey. A produtividade e os valores das demais variáveis alcançados com a irrigação com efluente foi equivalente à irrigação com água de poço mais adubação química, o que demonstra a possibilidade de

utilização apenas do esgoto tratado sem a adubação. Desta forma, há economia tanto do adubo como da água de poço, tornando a irrigação e o cultivo mais baratos, e garantindo produtividade.

TABELA 11 – Resumo das análises de variância ao nível de 5% para as variáveis relacionadas com a cultura da melancia irrigada por gotejamento. Aquiraz, Ceará, 2005.

Fonte de variação					
Tratamento			Resíduo	CV (%)	Média Geral
Quadrado Médio	Grau de Liberdade	3	6		
	Peso do fruto (Kg)	0,80 (ns)	1,25	22,94	4,87
	Sólidos Solúveis Totais (°Brix)	0,09 (ns)	0,74	8,56	10,04
	Comprimento do fruto (cm)	5,88 (ns)	8,46	8,94	32,53
	Diâmetro do fruto (cm)	4,17 (ns)	0,79	4,32	20,54
	Diâmetro da polpa (cm)	1,61 (ns)	3,07	10,05	17,43

CV- Coeficiente de variação

ns – não significativo

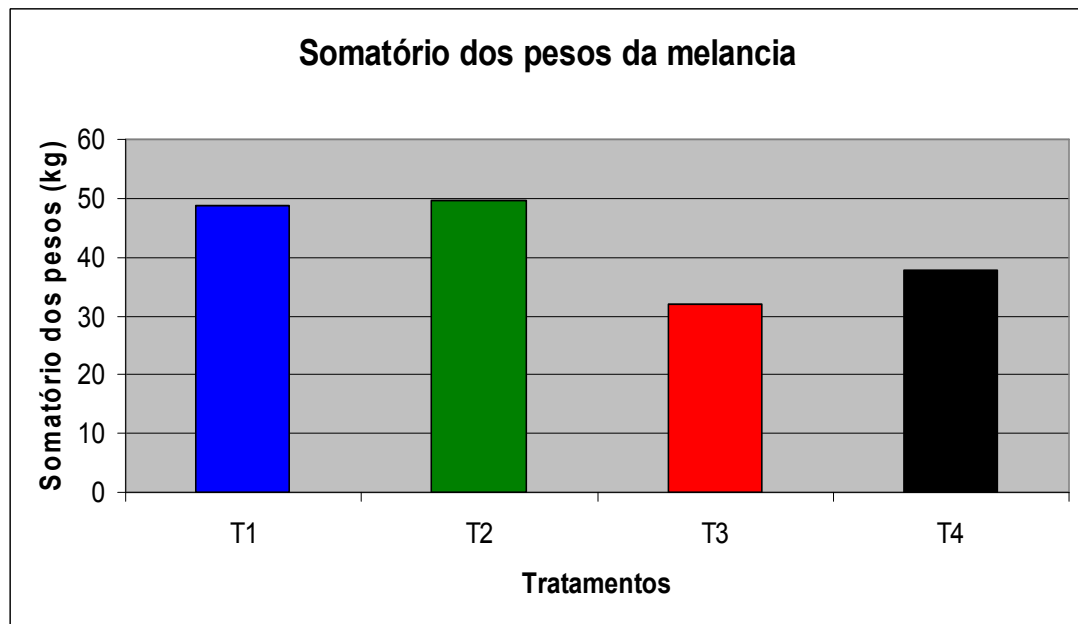


FIGURA 8– Valores do somatório dos pesos dos frutos da melancia irrigada por gotejamento nos quatro tratamentos testados. Aquiraz, Ceará, 2005.

gotejamento nos

Em relação ao somatório dos pesos dos frutos, percebe-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos testados. Os tratamentos 1 (água e adubação recomendada) e 2 (esgoto e adubação recomendada) foram os que forneceram maiores valores de somatório dos pesos dos frutos. Desta forma, pode-se afirmar que a adubação é uma atividade realmente importante para a produtividade da cultura, favorecendo o seu desenvolvimento e crescimento.

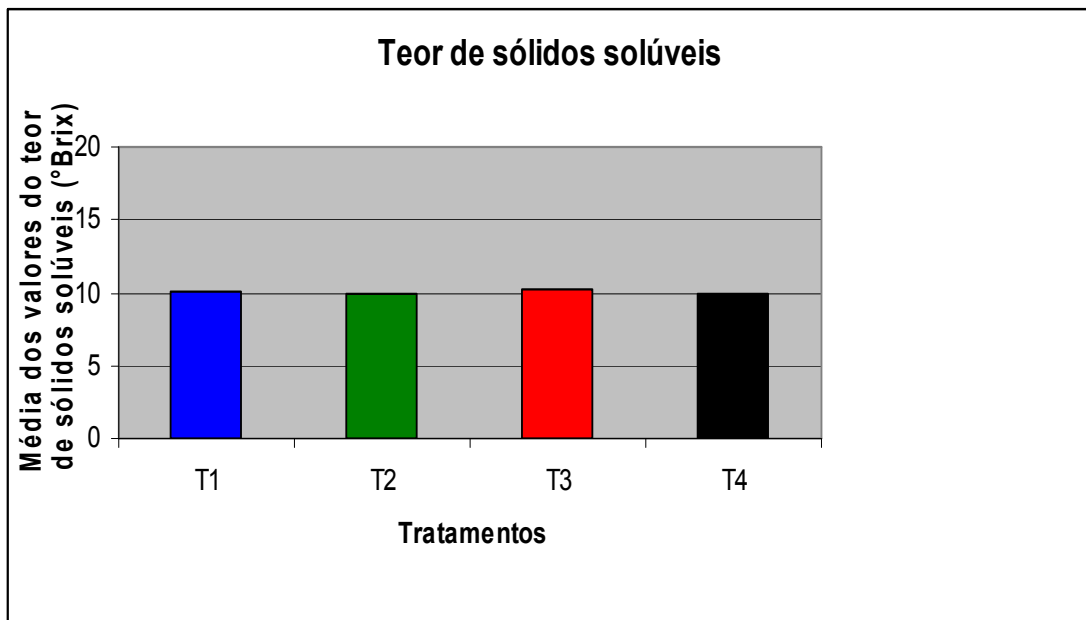


FIGURA 9- Valores de Grau Brix da melancia irrigada por gotejo. Aquiraz, Ceará, 2005.

Observa-se que não houve diferença significativa entre os frutos dos diferentes tratamentos em relação ao teor de sólidos solúveis totais (SST). A baixa precipitação, principalmente nos estágios de crescimento e maturação dos frutos, ocasionou uma maior concentração de SST nos mesmos. Valores elevados de SST são desejáveis, pois proporcionam melhor sabor ao fruto. O reúso deve, além de garantir que não ocorram riscos à saúde dos consumidores dos frutos, dar condições de produtividade e boa qualidade para os frutos.

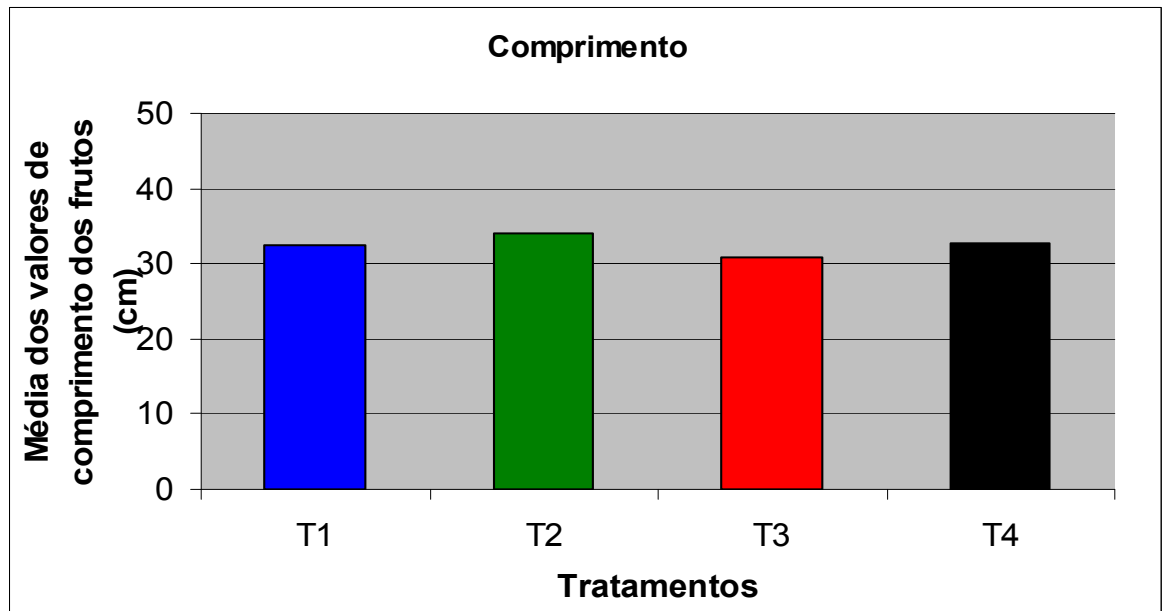


FIGURA 10 – Valores médios dos comprimentos dos frutos (melancia) irrigados por gotejamento para cada tratamento. Aquiraz, Ceará, 2005.

Em relação ao comprimento dos frutos, não houve diferença significativa entre os tratamentos testados. O melhor resultado encontrado foi o T2 (esgoto mais adubação recomendada). Os frutos medidos estavam em torno de 30 cm de comprimento. Este parâmetro comprova que, utilizando o esgoto para irrigação, os frutos terão crescimento satisfatório, adquirindo tamanho bom para comercialização.

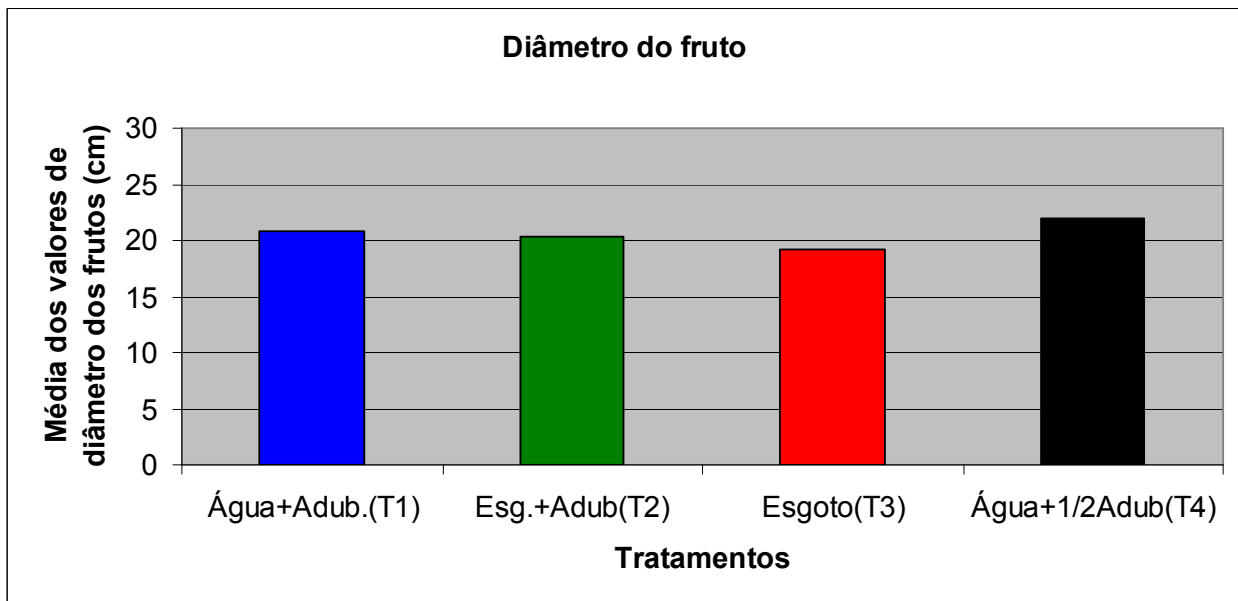


FIGURA 11– Valores médios dos diâmetros dos frutos (melancia) irrigados por gotejamento para cada tratamento. Aquiraz, Ceará, 2005.

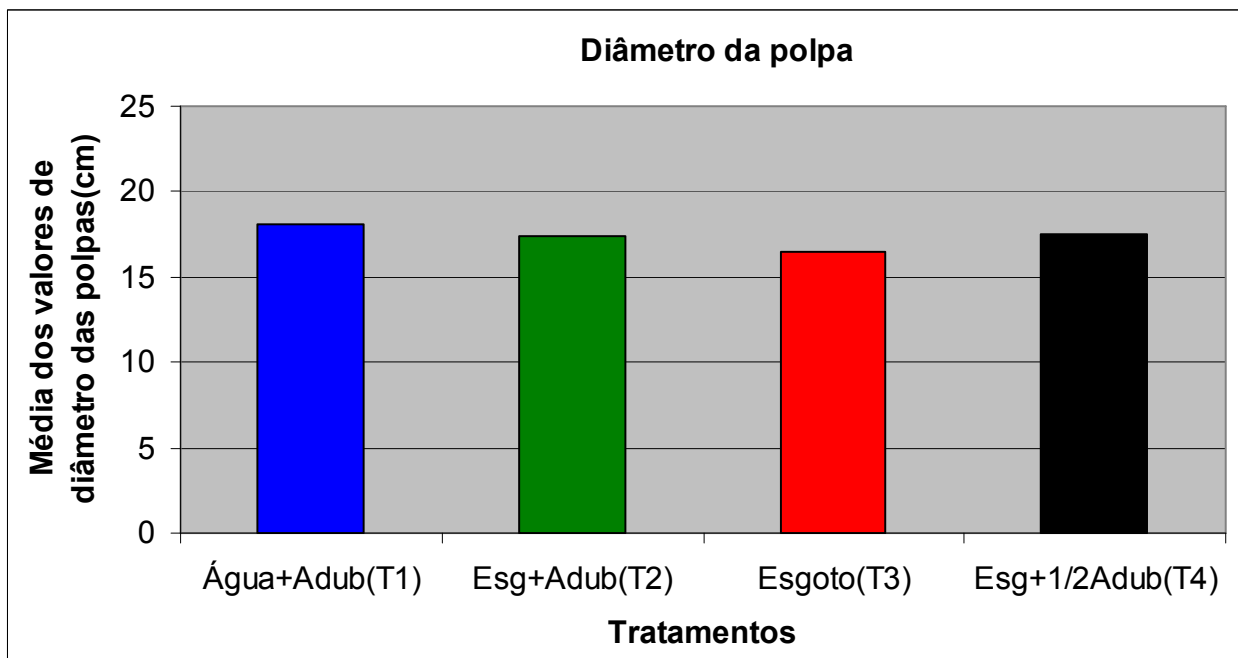


FIGURA 12 – Valores médios dos diâmetros da polpa dos frutos (melancia) irrigados por gotejamento para cada tratamento. Aquiraz, Ceará, 2005.

No caso do diâmetro do fruto, não houve diferença significativa entre os 4 tratamentos. Na Figura 11 são mostrados valores de diâmetro dos frutos em torno de 20cm. Para o diâmetro da polpa repete-se a uniformidade, para todos os tratamentos, ficando os diâmetros da polpa do fruto em torno de 17 cm (Figura 12).

As Fotos 7 a 11 são das melancias do experimento, tanto da área irrigada por sulcos como da área irrigada por gotejamento.



FOTO 7 – Melancia do tratamento T1 na área irrigada por sulco



FOTO 8 – Melancia da área irrigada por gotejamento



FOTO 9 - Vista da área de irrigação da melancia por gotejamento



FOTO 10 – Melancia irrigada pelo tratamento T4 na área irrigada por gotejo.

A



B

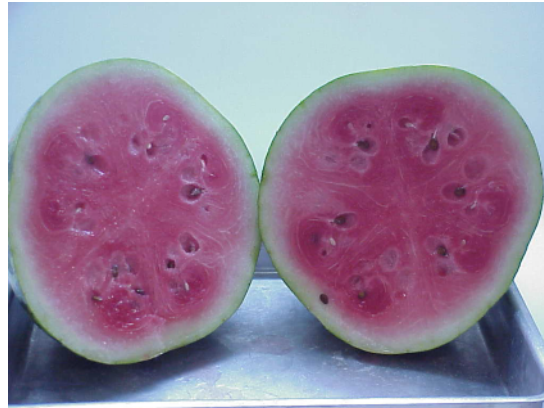


FOTO 11 – Corte das melancias: irrigada por sulco (A) e irrigada por gotejo (B)

Em experimento realizado por Rego *et al.* (2005) nessa mesma área, durante o período chuvoso (março a maio de 2005) foram encontradas produtividades, tanto no sulco quanto no gotejamento, inferiores às produtividades de outros trabalhos com melancia *Crimson Sweet*, no Estado do Ceará. Essa reduzida produtividade da cultura deve ter sido por causa do excesso hídrico (alta precipitação pluviométrica no período) que, possivelmente, ocasionou a diminuição de oxigênio na zona radicular, dificultando a respiração e, conseqüentemente, reduzindo a produção de energia necessária para a síntese e a translocação dos compostos orgânicos e a absorção ativa dos mesmos, prejudicando a formação dos frutos. A falta de oxigênio, também, pode ter provocado a redução na fotossíntese, ocorrendo, portanto, um menor crescimento das plantas devido à diminuição da eficiência de transformação dos fotoassimilados nessas condições. Além disso, o excesso hídrico pode ter ocasionado a lixiviação de nutrientes, diminuindo a sua disponibilidade para as plantas.

Foi observada uma maior produtividade na irrigação por sulco no tratamento T4 (esgoto mais metade da adubação); para a área irrigada por gotejo não houve diferença significativa entre os tratamentos; no período chuvoso, o cultivo de hortaliças e frutas de ramos rastejantes pode ser irrigado com esgoto doméstico tratado sem a adubação, economizando tanto o adubo quanto a água do poço; a equivalência das variáveis entre a irrigação com esgoto e a água de poço demonstra viabilidade técnica e econômica do reúso de esgoto doméstico tratado na irrigação da melancia (REGO, 2005).

Bastos (2003) relata experimento de fertirrigação (efluente de lagoa de estabilização) de milho, conduzido na UFV no âmbito do Edital 3, Tema 2 do PROSAB. As análises de variância revelaram que os piores resultados correspondem à testemunha absoluta (irrigação somente com água deionizada) e à irrigação com água residuária sem adição de fertilizantes. Os melhores resultados em relação à produtividade da cultura, foram obtidos com a irrigação com água deionizada mais adubação, estatisticamente superiores aos resultados da irrigação com água residuária mais adubação. Nota-se também que os resultados da irrigação com água residuária e adição parcial de nutrientes equivalem-se, em quase todos os casos, aos resultados da adição completa de nutrientes. Algumas hipóteses podem ser avaliadas: insuficiência de nutrientes veiculados pela água residuária, problemas de disponibilidade dos

nutrientes veiculados pela água residuária, toxicidade ou até mesmo a interação entre esses fatores.

Souza *et al.* (2006), na avaliação da produtividade da mamona irrigada com esgoto doméstico tratado, realizada no Centro de Pesquisa da presente dissertação, observaram que para todas as variáveis analisadas, os tratamentos com utilização de efluentes apresentaram os melhores rendimentos, quando comparado com a parcela irrigada com água de poço. O tratamento com efluente mais adubação recomendada superou todos os componentes de produção analisados, evidenciando o potencial de reúso de esgoto doméstico tratado na irrigação da mamona.

Rego *et al.* (2006), na avaliação do aproveitamento agrícola da irrigação do mamão com esgoto doméstico tratado, também realizada no Centro de Pesquisa da presente dissertação, não observaram diferenças estatísticas entre os tratamentos testados com água e com esgoto. A maior produtividade, em termos de peso dos frutos colhidos, foi observada no tratamento 3 (esgoto sem adubação), mostrando o potencial do aproveitamento agrícola do esgoto tratado na irrigação da cultura do mamão.

Henrique *et al.* (2005) observou que utilizando efluente de um reator UASB (altas concentrações de matéria orgânica e nutrientes) na irrigação da cultura do pimentão, a produtividade foi superior quando comparada a outros efluentes ou à água de poço. Podendo-se afirmar que disponibilizar esgotos tratados na agricultura é uma prática promissora, econômica e ambientalmente ecológica.

5.3 Produto final

A questão da boa produtividade dos frutos e a ausência de riscos à saúde, em relação à prática do reúso de águas, devem estar aliadas a um bom produto final, compatível com as exigências do mercado e que apresente um sabor agradável aos consumidores.

5.3.1 Caracterização microbiológica

Os resultados das análises microbiológicas das amostras de melancia encontram-se na Tabela 12.

Nas amostras avaliadas não foi constatada a presença de bactérias do grupo coliforme nem de *Salmonella* sp, sugerindo que as condições higiênico-sanitárias do produto são satisfatórias.

A presença de microrganismos nos alimentos não significa necessariamente um perigo para o consumidor, ou uma qualidade inferior destes produtos. A maioria dos alimentos, exceto os produtos esterilizados, contêm bolores, leveduras, bactérias e outros microrganismos inócuos. No entanto, tornam-se potencialmente perigosos para o consumidor quando os princípios de higiene, limpeza e desinfecção são violados. Dessa maneira, a presença e a multiplicação de agentes infecciosos nos alimentos podem constituirlos em um veículo de transmissão de enfermidades, tais como a salmonelose ou a intoxicação estafilocócica.

Segundo a ABNT, a água de irrigação deve estar isenta de microrganismos que possam comprometer a saúde das pessoas. Na norma sobre reúso de águas, a ABNT sugere que o esgoto tratado seja usado em lavagens de pisos, calçadas, irrigação de jardins e pomares, manutenção das águas nos canais, nas descargas dos banheiros, entre outros. No entanto, não recomenda o uso, mesmo desinfetado, de esgoto tratado, na irrigação das hortaliças e frutas de ramos rastejantes, como melão e melancia.

Como não foi verificado comprometimento da qualidade microbiológica dos frutos analisados, percebe-se que algumas recomendações da ABNT, referentes ao uso de efluente tratado no cultivo de plantas rasteiras, devem ser repensadas.

TABELA 12 – Características microbiológicas das melancias coletadas nos diferentes tratamentos. Aquiraz, Ceará, 2005.

Amostra		Determinação			<i>Salmonella</i> sp. (em 25g)
		Coliformes a 35°C (NMP g ⁻¹)	Coliformes a 45°C (NMP g ⁻¹)	<i>E. coli</i> (NMPg ⁻¹)	
Gotejo	T ₁ B ₂	< 3	< 3	< 3	Ausência
	T ₂ B ₂	< 3	< 3	< 3	Ausência
	T ₃ B ₂	< 3	< 3	< 3	Ausência
	T ₄ B ₂	< 3	< 3	< 3	Ausência
Sulco	T ₁ B ₂	< 3	< 3	< 3	Ausência
	T ₂ B ₂	< 3	< 3	< 3	Ausência
	T ₄ B ₂	< 3	< 3	< 3	Ausência
	T ₃ B ₂	< 3	< 3	< 3	Ausência

Nota: T – tratamento B – bloco

5.3.2 Aspectos físico-químicos

Foram investigadas as características físico-químicas dos frutos, que, dependendo da época, do estágio de maturação e do local da produção, podem apresentar grande variação na sua composição. Entre os parâmetros físico-químicos avaliados (Tabela 13), observou-se que as amostras apresentaram características diferentes entre si, a nível de 5% de significância. Em relação ao pH, com exceção das amostras submetidas aos tratamentos T₄ e T₁, gotejo e sulco, respectivamente, todas as demais amostras diferiram entre si. O teor de sólidos solúveis (Brix), variou de 6,3 a 10,2, também mostrou o mesmo comportamento, enquanto que na determinação da acidez observou-se semelhança de resposta somente entre as amostras T₁ e T₂, submetidas a irrigação por gotejamento e sulco, respectivamente.

TABELA 13 - Características físico-química da polpa da melancia para os diferentes tratamentos e sistemas de irrigação. Aquiraz, Ceará, 2005.

Parâmetro	Gotejamento				Sulco			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
pH	5,28 ^b	4,99 ^g	5,06 ^f	5,34 ^a	5,47 ^a	5,15 ^d	nd	5,2 ^c
Grau Brix	8,9 ^c	7,9 ^e	7,5 ^f	9,5 ^b	10,2 ^a	8,1 ^d	nd	6,3 ^g
Acidez Total	0,101 ^b	0,127 ^a	0,074 ^e	0,074 ^e	0,095 ^c	0,097 ^{bc}	nd	0,083 ^d

O melhor conjunto de resultados foi observado no tratamento 4 da área irrigada por gotejamento. Sob essas condições os frutos apresentaram pH e brix mais elevados e acidez total menor que os frutos do tratamento controle, sugerindo que os primeiros são mais saboroso.

5.3.3 Aspectos sensoriais

Após a garantia da qualidade microbiológica, foram realizados os testes sensoriais. Nas Tabelas 14 e 15 encontram-se os resultados do teste Diferença de Controle, analisados pela ANOVA e as médias foram comparadas através do teste de Dunnett.

Na Tabela 14 observam-se os resultados referentes às amostras de melancia irrigadas pelo método de sulco e submetidas a três tratamentos diferentes (T₂, T₃ e T₄), os quais foram comparados ao tratamento controle (T₁). A análise de variância mostrou que, somente as amostras que receberam o tratamento 2 (T₂), não apresentaram sabor diferente, significativo ao nível de 5%, quando comparadas às amostras submetidas ao tratamento controle (T₁). As amostras submetidas aos tratamentos T₃ e T₄ apresentaram sabor diferente, significativo ao nível de 5%, tanto em relação às amostras do tratamento T₁, como também diferiram entre si. Observa-se, ainda, que as amostras submetidas ao tratamento T₄ foram as que apresentaram sabor mais diferente ao das amostras controle (T₁).

TABELA 14 - Avaliação da diferença de sabor entre as melancias irrigadas pelo método de sulco para os diferentes tratamentos. Aquiraz, Ceará, 2005.

Tratamento	Média
T ₁ : Água de poço + Adubação (C) [*]	2,3750a
T ₂ : Efluente + Adubação	3,5000a
T ₃ : Efluente	5,2083b
T ₄ : Efluente + 1/2 Adubação	7,7083c

C: Controle

Médias apresentando a mesma letra não apresentam diferença significativa a $p \leq 0,05$.

TABELA 15 - Avaliação da diferença de sabor entre as melancias irrigadas por gotejamento para os diferentes tratamentos. Aquiraz, Ceará, 2005.

Tratamentos	Média
T1: Água de poço + Adubação (C) [*]	1,7500 ^a
T2: Efluente + Adubação	3,1667 ^{ab}
T3: Efluente	4,6667 ^b
T4: Efluente + 1/2 Adubação	4,0000 ^b

Na Tabela 15 observam-se os resultados referentes às amostras de melancia irrigadas pelo método de gotejamento e submetidas a três tratamentos diferentes (T₂, T₃ e T₄), os quais foram comparados ao tratamento controle (T₁). A avaliação mostrou que, em relação às amostras submetidas ao tratamento controle (T₁), somente as amostras do tratamento (T₂) não apresentaram sabor diferente, ao nível de 5%, em relação às amostras do tratamento controle (T₁). Adicionalmente, encontrou-se que as amostras dos demais tratamentos (T₃ e T₄) apresentaram sabor diferente, ao mesmo nível de significância, em relação às amostras do tratamento controle (T₁), mas que tanto não diferiram entre si, como também das amostras submetidas ao tratamento T₂.

Em relação ao Teste Triangular, realizado entre os tratamentos T1 de irrigação por gotejamento e sulco, onze julgadores forneceram a resposta correta. Para um total de 24 julgamentos seriam necessárias pelo menos 13 respostas corretas para que houvesse diferença significativa entre as amostras testadas, a $p \leq 0,05$. Como foram observadas apenas 11 respostas corretas, conclui-se que não existe diferença significativa entre as amostras testadas, ao nível de 5% de significância. Isto significa que os sistemas de irrigação por sulco e gotejamento podem ser, indiferentemente, utilizados sem comprometer o sabor dos frutos produzidos.

Rego *et al.* (2006) observaram que, além das maiores produtividades, os tratamentos irrigados com esgoto forneceram melhores características físico-químicas da polpa do fruto, garantindo assim a qualidade final do produto, quando comparada com a irrigação com água de poço. A não detecção de patógenos na polpa do fruto garantiu a qualidade sanitária da cultura do mamão irrigada com efluente.

6. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na pesquisa permitem concluir:

- A qualidade do efluente tratado pelo sistema de lagoas de estabilização atende aos padrões estabelecidos pela OMS para irrigação irrestrita, indicando que este pode ser utilizado na irrigação de culturas de hortaliças e frutas de ramas rastejantes, como a melancia.
- Entre os sistemas de irrigação avaliados, gotejamento e sulco, apenas o primeiro apresentou resposta satisfatória em relação à produtividade, comprovando a eficiência desse sistema para irrigação de culturas com esgoto tratado.
- Os frutos irrigados por gotejamento apresentaram qualidade superior aos frutos irrigados por sulco.
- Em relação às variáveis indicadoras de produtividade da cultura, não houve diferença significativa entre os tratamentos da área irrigada por gotejo. Dentre os quatro tratamentos testados, o que proporcionou maior somatório de pesos foi o T2 (esgoto mais adubação recomendada). Isto mostra a possibilidade de utilizar esgoto na irrigação de culturas, garantindo produtividade satisfatória.
- Entre os tratamentos avaliados, somente T2 (irrigação com efluente mais adubação) produziu frutos semelhantes aos obtidos no tratamento controle (T1). Contudo, as características dos frutos produzidos pelo sistema de gotejamento e submetidos ao tratamento T4 (esgoto mais metade da adubação), foram os que apresentaram os melhores resultados físico-químicos.
- A qualidade microbiológica dos frutos analisados, tanto na área irrigada por gotejo como na área irrigada por sulco, atende aos padrões estabelecidos pela legislação vigente.

- Testes sensoriais mostraram que somente as amostras que receberam o tratamento T2 (irrigação com efluente mais adubação) não apresentaram sabor diferente, significativo ao nível de 5%, quando comparadas às amostras submetidas ao tratamento controle (T1). A adição de adubo aos efluentes tratados (T₂) resulta na produção de frutos com o mesmo sabor obtido pelo tratamento de água adicionada de adubo (T₁).
- Os sistemas de irrigação utilizados, gotejamento e sulco, não interferiram nas características organolépticas dos frutos produzidos.
- Os efluentes tratados podem ser utilizados para irrigação da cultura de melancia, desde que seja feito um monitoramento do efluente e cuidados no manejo da irrigação.

7. RECOMENDAÇÕES

- Utilizar outras culturas para verificar a influência da utilização de esgotos tratados na produtividade destas. Incluindo culturas rastejantes como a melancia.
- Avaliar a possibilidade de contaminação do solo ou das culturas por metais pesados, que podem proporcionar prejuízos ambientais e sanitários.
- Utilizar efluentes de outros tipos de tratamento, após análise sanitária destes e verificar a possibilidade de uso sem riscos à cultura e às pessoas.
- É importante também que estudos relacionados a reúso incluam esclarecimentos da população, para que se possam difundir tais idéias, tornando mais fácil a aceitabilidade de alimentos irrigados com esgoto.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS**. Disponível em <http://www.enge.com.br/reuso_agua.htm> Acesso em 17 de maio de 2006.

ALVES, I.R. **Utilização de esgoto doméstico tratado na irrigação do coqueiro e os possíveis impactos sobre as características do solo**. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

ANVISA – **Agência Nacional de Vigilância Sanitária**. Resolução – RDC n.12, de 2 de janeiro de 2001. Aprova o regulamento técnico sobre padrões microbiológicos para alimentos.

APHA –**American Public Heath Association**. Standard methods for the examination of water and waste water. 19 ed. Washington D.C.: APHA – AWWA-WPCF. 1995. 953p.

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

AVNIMELECH, Y. Irrigation with sewage effluents: The Israeli experience, **Journal Environmental Science e Technology**. v. 27, p. 1278-1281, 1993.

AYERS, R.S. ; WESTCOT, D.W. **A qualidade da água na agricultura**. Tradução de H.R. Gheyj; J.F. de Medeiros, F.A.V. Damasceno. Campina Grande, UFPB, 1991, 218p.

AZEVEDO, M.R.Q.A., KONIG, A., BELTRÃO, N.E.M., CEBALLOS, B.S.O., TAVARES, T.L. Análise comparativa da produção de milho irrigado com água residuária tratada. **Anais.**: In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 122, Campo Grande, ABES, 2005.

BASTOS, R.K.X. (coordenador) **Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura**. ABES, Rio de Janeiro. Projeto PROSAB, 2003, 267p.

BEZERRA, F.C.L. **Reuso planejado de águas residuárias em irrigação. Uma alternativa para o Estado do Ceará**. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1997.

CASALI, V.W.M *et al.*, Melancia: cultivares e métodos culturais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.8, n.85, p.29-32, 1982.

CHAVES, A.F., LIMA, J.H.F., ARAÚJO, A.P.B., AQUINO, B.F., SANTOS, A.B., Alterações a curto prazo nos atributos químicos de um solo cultivado com feijão e irrigado com esgoto tratado. **Anais.**: 8º Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, ABES, 2006.

CHAVES, A.F., LIMA, J.H.F., ARAÚJO, A.P.B., AQUINO, B.F., MOTA, S., Alterações a curto prazo nos atributos físicos de um solo cultivado com feijão e irrigado com esgoto tratado. **Anais.**: 8º Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, ABES, 2006.

CHERNICHARO, C.A.L. (coordenador) **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. Belo Horizonte, Projeto PROSAB, 2001, 544p.

DEVAUX, I., GERBAUD, L., PLANCHON, C., BONToux, J., GLANDDIER, Y. Infectious risk associated with wastewater reuse: an epidemiological approach applied to the case of Clermont-Ferrand, France. **Journal Water Science and Technology**. v. 43, n.12, p. 53-60, 2001.

DIAS, R.C.S., COSTA, N.D., QUEIRÓZ, M.A., FARIA, C.M.B. **Cultura da melancia**. Empraba Semi-árido, 2001, 20p.

EL-GOHARY,F. **Need of Alternative Water Resources in Egypt.** Apresentado no workshop: Use of Appropriately Treated Domestic Wastewater in Irrigated Agriculture. Wageningen. The Netherlands, 2002.

FAYYAD,M.K., ALKHATIB,M.A. **Wastewater reclamation in Jordan: an option or a must.** Apresentado no workshop: Use of Appropriately Treated Domestic Wastewater in Irrigated Agriculture. Wageningen. The Netherlands, 2002.

FEIGIN, A., RAVINA, I., SHALHEVET, J. **Irrigation with Treated Sewage Effluent.** Management for Environmental Protection. Berlin Heidelberg, 1991.

FIGUEREDO, A.M.F., ARAÚJO, H.W.C., CEBALLOS, B.S.O., SOUSA, J.T., SANTOS, K.D. Aspectos Sanitários de Efluentes Tratados Utilizados na Cultura do Quiabo. **Anais.:** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 122, Campo Grande, ABES, 2005.

FUNCEME. Recursos Hídricos. **Fundação Cearense de Meteriologia e Recursos Hídricos.** Fortaleza, 2005. Disponível em <<http://www.funceme.br>>. Acesso em 11 de maio de 2006.

HARUVY,N. Wastewater reuse – regional and economic considerations. **Resources, conservation and recycling.** n. 23, 57-66, 1998.

HENRIQUE, I.N., SOUSA, J.T., LEITE, V.D., FIDELES, J. DANTAS, J.P. Utilização de esgotos tratados no desenvolvimento da cultura pimentão (*Capsicum annuum L.*). **Anais.:** In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 118, Campo Grande, ABES, 2005.

HOEK, W.V.D. **Wastewater livelihoods: meeting the health and environmental challenges.** Apresentado no workshop: Use of Appropriately Treated Domestic Wastewater in Irrigated Agriculture. Wageningen. The Netherlands, 2002.

HUIBERS F.P. **Irrigation options, design and management**. Apresentado no workshop: Use of Appropriately Treated Domestic Wastewater in Irrigated Agriculture. Wageningen. The Netherlands, 2002.

IPLANCE. Perfil Básico Municipal. **Instituto de Pesquisa e Informação do Estado do Ceará**. Fortaleza, 2004. Disponível em <<http://www.iplance.ce.gov.br>>. Acesso em 11 de maio de 2006.

JORDÃO, E.P., PESSÔA, C.A., **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4ª. Edição. Rio de Janeiro, 2005, 932p.

KACZALA, F. ROQUE, O.C.C, TONIATO, J.V. NASCIMENTO, V.B, ROQUE, D.B. Qualidade Microbiológica de efluentes domésticos e viabilidade de aplicação na irrigação. **Anais.**: In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 191, Campo Grande, ABES, 2005.

KELLNER, E., PIRES, E.C., **Lagoas de estabilização: projeto e operação**. Rio de Janeiro: ABES, 1998.

MANCUSO, P.C.S., SANTOS, H.F. (editores). **Reúso de Águas**. São Paulo, Faculdade de Saúde Pública/USP, 2003.

MEILGAARD, M.R.; CIVILLE, G.V.; CARR, B.T. **Sensory evaluation techniques**. Boca Raton: CRC Press, v.2., 1987,159p.

METCALF & EDDY, **Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse**. New York: McGraw-hill, Inc., 3ª edição, 1991.

MIRANDA, J.H. de; PIRES, R.C. de M. **Irrigação**. Série Engenharia Agrícola. Vol 2. Piracicaba : FUNEP, 2003, 703p.

MOTA, S. **Introdução à Engenharia Ambiental**. Rio de Janeiro, ABES, 1997.

NEVES, C.A. da C. **Aspectos sanitários do reúso de água na agricultura**. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.

NUVOLARI, A. (coordenador) **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reúso agrícola**. São Paulo. FATEC, CEETESP, FAT, 2003.

OMS - **Organização Mundial da Saúde**. Environmental health aspects of metropolitan planning and development. Technical Report Series, 297, Geneva, Switzerland. 1993.

PEREIRA, M.G., SILVA, D.A., ANDRADE NETO, C.O., MELO, H.N.S. Fertirrigação de milho com águas residuárias, no semi-árido nordestino. **Anais.**: In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 131, Campo Grande, ABES, 2005.

PERIN, K., SILVA, M.B., GONÇALVES, R.F., CASSINI, S.T.A. Reúso de efluentes de lagoa de polimento em cultivos agrícolas. **Anais.**: In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 129, Campo Grande, ABES, 2005.

PERYAM, D.R.; SWARTZ, V.M. Measurement of sensory differences. **Food Technology**, v.4, p.390-395. 1950.

PIVELLI, R.P., LÉO, L.F.R., FABRETI, A.A., MACEDO, M.F., Pós-tratamento de efluentes de lagoas de estabilização através de processos físico-químicos objetivando o reúso. **Anais.**: In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 202, Campo Grande, ABES, 2005.

PREGNOLATTO W., PREGNOLATTO, N.P. (coordenadores) **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. Métodos Químicos e Físicos para Análise de Alimentos. Vol. 1. 3ª. Edição.

REGO, J.L., OLIVEIRA, E.L.L., CHAVES, A.F., ARAÚJO, A.P.B. BEZERRA, F.M.L., SANTOS, A.B., MOTA, S. Uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande – PB, Suplemento, p. 155-159, 2005.

REGO, J.L., OLIVEIRA, E.L.L., BEZERRA, F.M.L., SANTOS, A.B., MOTA, S. Aproveitamento agrícola da água de esgoto doméstico tratado na cultura do mamão. . **Anais**.: 8º Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, ABES, 2006.

RESENDE, G.M., COSTA, N.D., Características produtivas da melancia em diferentes espaçamentos de plantio. **Horticultura Brasileira**. Brasília, v. 21, n. 4, p. 695-698, 2003.

SALASSIER, B., **Manual de Irrigação**. 6ed. Viçosa: UFV, 1995, 656p.

SANTIAGO, R.G. **Avaliação da qualidade do efluente final do sistema de lagoas de estabilização do SIDI, visando ao uso na agricultura**. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 1999.

SILVA, N. da., JUNQUEIRA, V.C.A., SILVEIRA, N.F.A. **Manual de Métodos de Análise Microbiológica de Alimentos**. São Paulo: Livraria Varela, 1997.

SILVA, A.N.S., SOUZA, M. A.A., Verificação dos efeitos do reúso paisagístico no cultivo de *Dahlia Pinnata*. **Anais**.: In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 108, Campo Grande, ABES, 2005.

SNEL, M. **Re-use of wastewater – its advantages and disadvantages specifically from an institutional and socio-cultural perspective.** Apresentado no workshop: Use of Appropriately Treated Domestic Wastewater in Irrigated Agriculture. Wageningen. The Netherlands, 2002.

SOUSA J. T. de, van HAANDEL, A.C., CAVALCANTI, P.F.F., FIGUEIREDO, A.M.F. Tratamento de esgoto para uso na agricultura do semi-árido nordestino. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental.** v. 10, nº 3, p. 260-265, 2005a.

SOUSA, J.T., CAVALCANTI, P.F.F., COSTA, P.L.F., SANTOS, K.D., LIMA, E.P.C. Desempenho de Lagoa de Polimento no pós-tratamento de Efluente Anaeróbio para Reúso na Agricultura. **Anais.**: In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 113-114, Campo Grande, ABES, 2005b.

SOUZA, N.C., MOTA, S., OLIVEIRA, E.L.L., REGO, J.L., SANTOS, A.B., Avaliação da produtividade da mamona (*Ricinus Communis L.*) irrigada com esgoto doméstico tratado. **Anais.**: 8º Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, ABES, 2006.

TAVARES, T.L., KONIG, A., CEBALLOS, B.S.O., AZEVEDO, M.R.Q.A. **Efeitos da água residuária tratada por lagoa de estabilização sobre os componentes de produção da alface.** Apresentado no Workshop: Uso e Reúso de Águas de qualidade inferior – Realidades e Perspectivas. Campina Grande. Paraíba, 2005.

TSUTIYA M.T., **Uso agrícola dos Efluentes das Lagoas de Estabilização do Estado de São Paulo.** 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001.

UEHARA, M.Y., VIDAL, W.L. **Operação e manutenção de lagoas anaeróbias e facultativas.** São Paulo: CETESB, 1989.

VASCONCELOS, A.K.P. **Tratamento de Esgoto Doméstico por Infiltração Subsuperficial no Solo Associado à Produção de Feijão e Milho**. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental) – Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

VASQUEZ-MONTIEL, O. HORAN,N.J., MARA,D.D. Management of domestic wastewater for reuse in irrigation. **Journal Water Science Technology**. v. 33, p. 355-362, 1996.

VELÉZ,O.R., FASCIOLO.G.E., BERTRANOU, A. V. Domestic wastewater treatment in waste stabilization ponds for irrigation in Mendoza, Argentina: policies and challenges. **Water Science and Technology**. v. 45, n.1, p.127-132, 2002.

von SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**, 3ª. Edição, Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

von SPERLING, M. **Lagoas de estabilização**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996, 134p.

WILLIAMS, S. Water Policy Briefing. **International Water Management Institute**, 2003.