



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA / UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
PROGRAMA REGIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E MEIO
AMBIENTE**

ISRAEL NUNES HENRIQUE

**TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA E SUA
UTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA**



**Campina Grande-PB
2006**

Israel Nunes Henrique

**TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA E SUA
UTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA**

Dissertação apresentada ao
Programa regional de Pós-
Graduação em Desenvolvimento
e Meio Ambiente – PRODEMA,
Universidade Federal da Paraíba,
Universidade Estadual da Paraíba
em cumprimento às exigências
para obtenção de grau de Mestre
em Desenvolvimento e Meio
Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. José Tavares de Sousa

Campina Grande – PB

2006

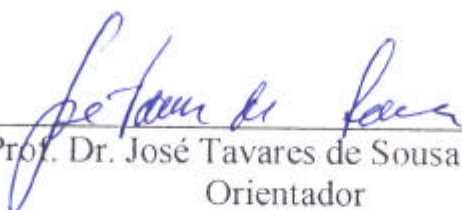
Israel Nunes Henrique

**TRATAMENTO DE ÁGUA RESIDUÁRIA DOMÉSTICA E SUA
UTILIZAÇÃO NA AGRICULTURA**

Dissertação apresentada ao Programa regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba, Universidade Estadual da Paraíba em cumprimento às exigências para obtenção de grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovado em 20 de Fevereiro de 2006

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. José Tavares de Sousa - UEPB
Orientador

Profª. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos - UEPB
Examinador Interno


Prof. Dr. José Dantas Neto - UFCG
Examinador Externo

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL-UEPB

H518t Henrique, Israel Nunes
 Tratamento de água residuária e sua utilização na
 agricultura/ Israel Nunes Henrique.– Campina Grande:
 UEPB, 2006.

122f.:il.colbr.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio
Ambiente) – Universidade Estadual da Paraíba

1– Tratamento-Água Residuária I- Título

22.ed. CDD 678.162

Dedicatória:

Não apenas esse projeto, mas todas as minhas conquistas profissionais são dedicadas aos meus pais, Beatriz e Luiz, que em nenhum momento deixaram de me apoiar e à Alessandra, companheira de hoje e de sempre.

AGRADECIMENTOS

Ao professor José Tavares de Sousa pela amizade e orientação.

A minha mãe Beatriz, meu pai Luiz e familiares, aos amigos que tanto me apoiaram e em especial a Alessandra.

Ao grupo do PROSAB, em especial aos professores Adrianus e Paula. Aos bolsistas Paulo, Eudes, Anchieta, Keliana, Pollyanna, Leila, Mariaugusta e Mário.

Ao PRODEMA, em especial, aos professores, Valderi, Idalina, Sanchs, Juares, Fídelis, Auri, Damião, Etham e Mourão.

Aos meus amigos Eduardo, Luciano e Suzana, pelo companheirismo e ajuda nas atividades da pesquisa.

A Romário e a Nélia pelas suas colaborações.

Aos colegas do PRODEMA, Salomão, Cristina, Robson, Pollyanna, Myrthis, Mayara, Vanessa e Maria José.

Ao professor Pires pela participação na minha pré-defesa.

Ao Sr. Renato Beranger, pela concessão de sua propriedade no município de Lagoa Seca, para instalação do experimento e pela assistência de um modo geral.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico –CNPq (CTHidro) pelo suporte financeiro.

Aos funcionários da pós-graduação e a todos que colaboraram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

O esgoto doméstico tratado quando disponibilizado para as atividades agrícolas proporciona economia de água de boa qualidade e fertilizantes químicos e incentiva às atividades agrícolas. Na região semi-árida do Brasil o reúso de água poderá ser uma alternativa para a convivência com a escassez dos recursos hídricos. Neste contexto, estão inseridos os trabalhadores rurais do Município de Lagoa Seca, PB, que produzem hortaliças durante todo ano como fonte de renda advindo da agricultura familiar. Diversas pesquisas já foram realizadas com a finalidade de desenvolver tecnologias de tratamento de esgotos que produza efluentes com menores riscos de transmissão de doenças, mas garantindo concentrações adequadas de nutrientes às culturas irrigadas. O presente estudo teve como objetivo avaliar os aspectos sanitários e nutricionais dos efluentes de esgotos tratados em um sistema formado por um reator UASB seguido de lagoa de polimento. Também foi verificada a utilização desses efluentes na fertirrigação de pimentão (*Capsicum annuum* L.). Comparada com tratamentos do solo utilizando adubação mineral e orgânica, o plantio do pimentão obedeceu ao delineamento estatístico de blocos ao acaso, com 5 tratamentos e 4 repetições. Durante o período experimental foram realizadas análises semanais dos efluentes e da cultura de pimentão. O pós-tratamento do esgoto na lagoa de polimento produziu efluente com qualidade sanitária dentro dos valores recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 1989) para irrigação de vegetais consumidos crus. O pimentão irrigado com efluente do reator UASB não apresentou diferença significativa de produtividade (ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey), quando comparado à aplicação de adubação mineral e orgânica.

Palavras-chave: Reúso, Reciclagem de Nutrientes, Agricultura Familiar

ABSTRACT

The treated domestic sewer when available for the agricultural activities provides economy of water of good quality and chemical fertilizers and it motivates to the agricultural activities. In the semi-arid area of Brazil the reuse of water can be an alternative for the coexistence with the shortage of the hydric resources. In this context, the rural workers of the Municipal district of Lagoa Seca, PB, that produce vegetables during all year as source of revenue happening of the family agriculture. Several researches were already accomplished with the purpose of developing technologies of treatment of sewers that produces effluents with smaller risks of transmission of diseases, but guaranteeing appropriate concentrations of nutrients to the irrigated cultures. The present study had as objective to evaluate the sanitary aspects and nutricionais of the effluents of treated sewers in a system formed by a reactor UASB followed by polishing pond. The use of those effluents was also verified in the fertigation of bell pepper (*Capsicum annuum* L.). Compared with treatments of the soil using mineral and organic manuring, the planting of the bell pepper obeyed the statistical planning of blocks random, with 5 treatments and 4 repetitions. During the experimental period weekly analyses of the effluents were accomplished and of the culture of bell pepper. The pos-treatment of the sewer in the polishing pond produced effluent with sanitary quality inside of the values recommended by the World Organization of Health (OMS, 1989) for irrigation of vegetables consumed raw. The bell pepper irrigated with effluent of the reactor UASB didn't present significant difference of productivity (at the level of 5% of probability for the test Tukey), when compared to the application of mineral and organic manuring.

Keywords: Reuse, Recycling of Nutrients, Family Agriculture

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

AF	Área Foliar
ANVISA	Agência de Vigilância Sanitária
Ap	Área da parcela
APHA	American Public Health Association
aro-OH-	Grupo Fenol
$\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$	Hidroxiapatita
Ca^{2+}	Íon Cálcio
CE	Condutividade elétrica
CTerm	Coliforme Termotolerante
CH_3COOH	Ácido Acético
CH_4	Gás Metano
CIRRA	Centro Internacional de Referência em Reúso de Água
Cl^-	Íon Cloro
CMMAD	Comissão Mundial para o Meio Ambiente e o Desenvolvimento
CNUMAD	Conferencia das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento
CO_2	Dióxido de Carbono
CONFEA	Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia
-COOH	Grupo Carboxílico
CR	Concentração do nutriente recomendada
CS	Concentração do nutriente no solo

CTA	Capacidade de Troca Aniônica
CTC	Capacidade de Troca Catiônica
Cu^{2+}	Íon Cobre
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
<i>E.coli</i>	Escherichia coli
F	Fator de correção
FAO	Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura
Fe^{2+}	Íon Ferro
H	Hidrogênio
H_2	Gás Hidrogênio
H_2PO_4^-	Íon Fosfato
H_2S	Gás Sulfídrico
H_3BO_3	Ácido Bórico
HPO_4^{2-}	Íon Fosfato
INCRA	Instituto de Colonização e Reforma Agrária
K^+	Íon Potássio
K_2O	Óxido de Potássio, usado para expressar a adubação por Potássio
LP	Lagoa de Polimento
M.O.	Matéria Orgânica
$\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$	Estruvita
Mg^{2+}	Íon Magnésio
Mn^{2+}	Íon Manganês

MoO_4^-	Tetróxido de Molibdênio
Na^+	Sódio Trocável
$-\text{NH}_2$	Grupo Aminico
NH_3	Gás Amônia
NH_4^+	Íon Amoníaco
NMP	Número mais provável
NO_3^-	Íon Nitrato
NPK	Relação Nitrogênio, Fósforo e Potássio (N:P:K)
NTK	Nitrogênio Amoniacal Kjeldahl
O_2	Oxigênio
$-\text{OCH}_3$	Grupo Metóxidos
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial de Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
p	Profundidade
P_2O_5	Pentóxido de Fósforo, usado para expressar a adubação por Fósforo
PB	Paraíba
pH	Potencial Hidrogeniô nico
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PO_4^{3-}	Íon Fosfato
PRONAF	Programa Nacional da Agricultura Familiar
PST	Porcentagem de sódio trocável
QN	Quantidade do nutriente a ser aplicado em uma parcela

RAFA	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
RAS	Relação de adsorção de sódio
S	Largura
SO_4^{2-}	Íon Sulfato
SST	Sólidos Suspensos Totais
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
t.ha^{-1}	Toneladas por hectare
T1	Irrigação com água de poço e solo sem adubação
T2	Irrigação com água de poço e solo com adubação mineral
T3	Irrigação com água de poço e solo com adubação orgânica
T4	Irrigação com efluente da lagoa de polimento e solo sem adubação
T5	Irrigação com efluente de reator UASB e solo sem adubação
TDH	Tempo de Detenção Hidráulica
TRC	Tempo de Retenção Celular
UFC	Unidade Formadora de Colônias
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UASB	Upflow Anaerobic Sludge Blanket
UICN	União Internacional para a Conservação da Natureza
UNESP	Universidade Estadual Paulista
WHO	World Health Organization
Zn^{2+}	Íon Zinco

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Fluxo de carbono na decomposição anaeróbia da matéria orgânica complexa a metano e os grupos de bactérias participantes.....	42
FIGURA 2. Localização espacial da área experimental de tratamento e reúso de esgoto tratado.....	61
FIGURA 3. Reator UASB.....	62
FIGURA 4. Sistema de Lagoas de Polimento em série.....	63
FIGURA 5. Esquema do Sistema de Tratamento em Lagoa Seca.....	63
FIGURA 6. Dimensionamento dos sistemas UASB e Lagoa de Polimento.....	64
FIGURA 7. Esquema das Parcelas Experimentais e Distribuição dos Tratamentos.....	66
FIGURA 8. Configuração adotada em cada parcela.....	66
FIGURA 9. Área experimental de cultivo de pimentão (após transplântio).....	67
FIGURA 10. Área experimental de cultivo de pimentão (30 dias após transplântio)...	67
FIGURA 11. Parcela experimental de cultivo do pimentão (30 dias após transplântio)	67
FIGURA 12. Quantidade de macronutrientes adicionados durante o experimento, para os cinco tratamentos.....	85
FIGURA 13. Comportamento temporal da altura do pimentão, para os cinco tratamentos.....	89
FIGURA 14. Comportamento temporal da área foliar da cultura do pimentão, para os cinco tratamentos.....	90
FIGURA 15. Produtividade final da cultura do pimentão, para os cinco tratamentos...	93

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Classificação das águas pela condutividade elétrica a 25°C e pela relação de adsorção de sódio-RAS.....	38
TABELA 2. Descrição de alguns dos principais sistemas de lagoas de estabilização..	49
TABELA 3. Recomendações da OMS (1989) para o uso na agricultura de águas residuais tratadas.....	52
TABELA 4. Disponibilidade de macronutrientes e micronutrientes essenciais às plantas.....	54
TABELA 5. Características físicas e operacionais do sistema experimental.....	64
TABELA 6. Métodos utilizados nas análises físicas e químicas.....	68
TABELA 7. Métodos para as análises de ovos de helmintos (Bailenger 1989, modificada) e coliformes termotolerantes (APHA, 1995).....	70
TABELA 8. Teor de nutrientes existentes e quantidade adicionada ao solo do tratamento 2, expressos em Kg.ha ⁻¹	71
TABELA 9. Características dos constituintes do vermicomposto utilizado no solo do tratamento 3 (T3).....	72
TABELA 10. Valores médios ($\bar{x}$), desvio padrão(δ) de vinte e cinco determinações de esgotos brutos e tratados (temperatura de 25 a 30 ° C) para reuso na agricultura.....	74
TABELA 11. Concentrações de coliformes quantificados no solo e fruto do pimentão.....	78
TABELA 12. Diretrizes microbiológicas revisadas indicadas para o uso de água residuária tratada na agricultura.....	80

TABELA 13. Valores médios e medianas de ovos de helmintos (ovos.L ⁻¹), quantificados pelo método de Bailenger (WHO, 1989) modificado, para os efluentes utilizados na fertirrigação.....	83
TABELA 14. Quantidade de NPK e DQO, proveniente das fertirrigações, aplicadas no solo durante o cultivo do pimentão.....	87
TABELA 15. Equações de regressão das curvas de variação da altura da cultura do pimentão.....	89
TABELA 16. Características vegetativas das plantas de pimentão segundo o tratamento a que foram submetidas.....	90
TABELA 17. Equações de regressão das curvas de variação da área foliar da cultura de pimentão.....	92
TABELA 18. Características das águas de irrigação quanto à salinidade e sodicidade	95

SUMÁRIO

Dedicatória

Agradecimentos

Resumo

Abstract

Lista de Abreviaturas, Siglas e Símbolos

Lista de Figuras

Lista de Tabelas

1 Introdução	18
2 Objetivos	21
2.1 Objetivo Geral.....	21
2.2 Objetivos Específicos	21
3 Revisão Bibliográfica.....	22
3.1 Desenvolvimento Sustentável: Histórico	22
3.1.1 Critérios de Sustentabilidade.....	26
3.2 A Agricultura Sustentável	28
3.3 A Agricultura Familiar na Paraíba	30
3.3.1 A Agricultura Familiar no Município de Lagoa Seca - PB.....	30
3.4 Escassez de Recursos Hídricos.....	32
3.5 Tipos de Reúso	33
3.5.1 Potencialidade de Reúso de Águas Residuárias Tratadas na Agricultura	34

3.6 Fertilização	35
3.7 Salinização e Sodificação de Solos	36
3.8 Tratamento de Águas Residuárias	38
3.8.1 Processo de Digestão Anaeróbia	42
3.9 Tratamento de Esgotos em Reator UASB (reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo)	45
3.10 Tratamento de Esgotos em Lagoa de Estabilização	48
3.11 Pós-tratamento de Efluente de Reator UASB em Lagoa de Polimento	50
3.11.1 Mecanismos de Remoção de Patógenos e Nutrientes em Lagoa de Polimento	50
3.12 A Matéria Orgânica no Solo	53
3.13 Absorção de Nutrientes	54
3.14 Adubação Mineral e Orgânica	55
3.15 Qualidade de um Alimento	57
3.16 Olericultura	58
3.17 Cultura do Pimentão (<i>Capsicum annuum L.</i>)	59
4 Material e Métodos	61
4.1 Localização do Experimento	61
4.2 Descrição da Unidade Experimental (ETE)	62
4.3 Sistema de Cultivo e Manejo	64
4.4 Análises Físicas e Químicas dos Afluente e Efluentes	68
4.5 Análises Físicas e Químicas do Solo Antes do Plantio	68
4.6 Análises Microbiológicas e Parasitológicas dos Afluente e Efluentes	69
4.7 Preparo e Adubação do Solo (mineral e orgânico)	70
4.7.1 Adubação do Solo	70

4.7.2 Adubação Mineral.....	70
4.7.3 Adubação Orgânica	71
4.8 Análise de Crescimento da Cultura	72
4.9 Análises Estatísticas	73
5 Apresentação e Discussão dos Resultados	74
5.1 Características do Esgoto Bruto e das Águas de Irrigação	74
5.2 Presença de Coliformes Termotolerantes no Solo e no Fruto	77
5.3 Concentrações de Matéria Orgânica (M.O.) e de NPK Aplicados no Solo	84
5.4 Avaliação Agronômica	88
5.4.1 Parâmetros de Crescimento da Cultura de Pimentão	88
5.4.2 Produtividade da Cultura de Pimentão.....	93
5.5 Sais na Água de Irrigação.....	94
6 Conclusões	97
8 Referências Bibliográficas	99
9 Anexo	111

1- INTRODUÇÃO

O uso constante e excessivo de água por parte da crescente densidade populacional vem gerando elevados volumes de águas residuárias que aumentam a poluição dos corpos de água. A urbanização e a industrialização também ampliam a demanda pela água.

A Paraíba é o Estado nordestino que possui o segundo maior número de municípios incluídos na área do Semi-árido, ficando atrás apenas do Piauí, de acordo com os dados do Ministério do Meio Ambiente. Pelo menos 170 cidades paraibanas, cerca de 80%, estão numa área em que os índices pluviométricos são inferiores a 800 mm por ano. Além disso, todos esses municípios estão suscetíveis à desertificação. Dessa forma, cerca de 1,5 milhão de pessoas enfrentam esse problema (SAMPAIO & SAMPAIO, 2002).

A ausência de políticas públicas eficientes e contínuas de gestão dos recursos hídricos existentes leva a falta de água e de emprego e melhorias sociais e econômicas. A falta periódica de água limita o desenvolvimento do Estado.

O reúso de águas na agricultura constitui uma possibilidade de expansão das áreas irrigadas, de conforto sobre a demanda de água, de minimização das fontes de contaminação dos corpos receptores e de redução de custos de produção de água potável, haja vista o elevado conteúdo de matéria orgânica (M.O.) e de nutrientes presentes nos esgotos. A necessidade de tratar os esgotos domésticos, passou a ser uma das prioridades do poder público, pelos aspectos sanitários, ambientais e estratégicos que a escassez de água provoca, principalmente nas regiões mais desenvolvidas. Uma das limitações mais comuns é o custo de construção e manutenção das unidades de tratamento, que torna uma ETE muitas vezes inviável. Assim, faz-se necessário o desenvolvimento de técnicas de

tratamento mais econômicas, porém com eficiências comparáveis ou melhores que dos sistemas existentes.

Torna-se necessário à aplicação de processos de tratamento que objetivem remover constituintes indesejáveis presentes nos esgotos e deixem aqueles desejáveis para os fins de um tipo de reúso específico. Os tratamentos biológicos de efluentes líquidos está sendo cada vez mais, marcado pelo surgimento de novas configurações de reatores anaeróbios e aeróbios, de maior viabilidade ambiental e de alta sustentabilidade.

Uma configuração que vem sendo bastante aceita é a que emprega reatores anaeróbios seguidos de pós-tratamento que melhoram a qualidade do efluente. O uso de sistemas biológicos permite o tratamento natural dos resíduos líquidos, sendo, em geral, eficientes e econômicos.

Atualmente, existem diversos sistemas de tratamento de esgotos, e dentre eles o tratamento anaeróbio com reatores UASB e as lagoas de estabilização com suas variantes. Muitos países utilizam os efluentes tratados por lagoas de estabilização em série em diversas atividades, destacando-se a irrigação, a criação de peixes e a produção de algas, pois o sistema de lagoas de estabilização, quando em boas condições de funcionamento promovem uma excelente remoção de microrganismos patogênicos, nutrientes e matéria orgânica (SANTOS, 1997).

Uma das formas de aproveitamento dos efluentes tratados é o seu reúso na agricultura, via água de irrigação que na atualidade é grande consumidora de água de boa qualidade. O tratamento de águas residuárias por processo biológico resulta na transformação dos constituintes complexos tais como, material orgânico em substâncias de estrutura molecular mais simples e de baixo conteúdo energético, possibilitando melhor

assimilação dos nutrientes pelas plantas e não havendo a necessidade de custos com adubos minerais solúveis.

2 - OBJETIVOS

2.1-GERAL:

Tratar esgoto sanitário em reator UASB seguido de lagoa de polimento para produzir efluente com qualidade sanitária adequada para irrigação irrestrita.

2.2-ESPECÍFICOS:

- Monitorar o reator UASB, seguido de lagoas de polimento, no tratamento de esgotos domésticos visando obter efluente com características químicas, físicas e sanitárias apropriadas para a irrigação;
- Avaliar o nível sanitário (aspectos microbiológicos e parasitológicos), do pimentão e do solo irrigado com esgotos tratados;
- Comparar o desempenho da cultura de pimentão irrigada com esgotos tratados, com aquelas desenvolvidas em solo com fertilizantes minerais e orgânicos;

3- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1- DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: HISTÓRICO

Os problemas ocasionados pela exploração descontrolada dos recursos naturais, ao longo da história da humanidade, em especial após a Revolução Industrial, que é o grande marco histórico do domínio do homem sobre a natureza, tornaram-se cada vez mais evidentes nas últimas cinco décadas e o debate deixou o círculo restrito de observadores privilegiados.

Segundo Pádua (2002) conforme já apontado em diversos estudos, foi no período pós-Segunda Guerra que houve a aceleração dos processos de alteração ambiental, como resultado de um crescimento econômico aparentemente sem fronteiras em termos de disponibilidade de recursos. Os elevados índices de produção e consumo, conjugados ao aumento populacional e à intensificação da urbanização, criaram um contexto de questões que se materializaram como problemas ambientais.

O agravamento continuado e intenso da situação ambiental, pontualizado inicialmente pela poluição industrial, abriu precedentes à luta pela consideração das questões ligadas ao meio ambiente, no cotidiano das nações. Alguns autores consideram a publicação, em 1962, do livro *Primavera Silenciosa*, de Rachel Carson, como o começo da revolução ambiental. Com a ação do movimento ambientalista nos anos 60 e 70, a questão ambiental ganhou relevo na pauta da discussão sobre escassez de energia e de recursos e adquiriu grande visibilidade através dos meios de comunicação de massa, atingindo o grande público e os meios oficiais e ocupando espaços privilegiados principalmente nas

instituições internacionais. Assim, existem hoje, em todos os níveis da sociedade e em praticamente todas as nações, uma crescente conscientização e uma preocupação com os problemas ambientais (McCORMICK, 1992).

Assim, o ano de 1972 é considerado um marco importante na discussão ambiental: na Nova Zelândia foi criado o primeiro partido verde e, em Estocolmo, foi realizada a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano. Ali, pela primeira vez, foram discutidos problemas políticos, sociais e econômicos do meio ambiente global em uma instância intergovernamental. A partir das discussões desta Conferência, foi criado o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Na Conferência de Estocolmo, firmou-se um entendimento sobre as relações entre o ambiente e o desenvolvimento, surgindo nesse momento o conceito de um novo tipo de desenvolvimento: o ecodesenvolvimento – uma proposição para novas modalidades de desenvolvimento, que valoriza o conhecimento produzido pelas populações locais para a gestão do seu meio, em contraposição à homogeneização dos modelos até então adotados (SACHS, 1993).

O termo ecodesenvolvimento, utilizado por Maurice Strong para ressaltar a relação entre meio ambiente e desenvolvimento das zonas rurais nos países em desenvolvimento, foi reelaborado por Ignacy Sachs, em 1973. Sachs deslocou o problema do aspecto puramente quantitativo (crescer ou não) para o exame da qualidade do crescimento. Posteriormente, ele indicou as estratégias de harmonização entre desenvolvimento socioeconômico e gestão ambiental. O conceito de ecodesenvolvimento foi aos poucos sendo substituído pelo conceito de desenvolvimento sustentável, cujo emprego tem origem em documento elaborado em 1980 pela União Internacional para a Conservação da Natureza (UICN) (ALMEIDA, 1997).

Segundo Cavalcanti (1998) o pouco sucesso das conferências temáticas realizadas no pós-Estocolmo, ao longo da década de 70 e início dos anos 80 (1974: população; 1976: habitat; 1977: desertificação; 1981: fontes alternativas de energia) não impediu o avanço das discussões. Em 1983, foi criada a Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD) que, sob a presidência de Gro Harlem Brundtland, primeira-ministra norueguesa, publicou em 1987 o seu relatório, que ficou conhecido como Relatório Brundtland – intitulado Nosso Futuro Comum. A partir daí, a questão ambiental recebeu mais um impulso.

O conceito de desenvolvimento sustentável passou, a partir de então, a ser utilizado em substituição à expressão ecodesenvolvimento e constituiu a base para a discussão e reorientação das políticas de desenvolvimento e sua relação direta com as questões ambientais. Desenvolvimento sustentável passou a ser tido como aquele desenvolvimento que “atende às necessidades do presente sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades” (SACHS, 2000).

Como resposta ao citado Relatório e tendo por base suas recomendações, uma outra Conferência foi convocada pela Assembléia Geral das Nações Unidas e realizada no Rio de Janeiro, em 1992: a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento (CNUMAD) – a Eco-92.

A Eco-92, também chamada Rio-92, configurou-se como um importante marco da reflexão sobre a questão ambiental e sua relação com o desenvolvimento, uma vez que os debates giraram em torno de estratégias de ações que pudessem ser adotadas pelos países periféricos na direção de um desenvolvimento sustentável, bem como das convenções sobre mudança climática e diversidade biológica. As estratégias de ação e de cooperação entre países, acordadas pelos participantes da Rio-92, estão consolidadas nos quarenta capítulos

da Agenda 21, documento oficial da Conferência. Aos esforços de cada Nação para garantir a discussão e a elaboração das respectivas Agendas, num processo continuado de participação da sociedade civil, somaram-se as dificuldades de implementar as ações previstas na Agenda 21. Como consequência, as decisões da Eco-92 têm encontrado dificuldades de sair do papel (CAVALCANTI, 1998).

Em 1997, foi realizado, também no Rio de Janeiro, o evento Rio + 5, no qual foram discutidas as ações adotadas e as propostas tiradas na Eco-92 ainda não implantadas. E no ano de 2002, a ONU realizou a “Cúpula Mundial sobre Desenvolvimento Sustentável”, quando se reuniram em Johannesburgo, na África do Sul, representantes de diferentes países, buscando avançar nas discussões iniciadas há dez anos e traçar as diretrizes do desenvolvimento sustentável. Este encontro, conhecido como Cúpula da Terra ou Rio+10 tem sido apontado como um retrocesso quando comparado aos anteriores, uma vez que não houve avanços significativos em relação às propostas da Rio-92 nem, tampouco, houve empenho dos países desenvolvidos, especialmente das grandes potências como os Estados Unidos, em assumir responsabilidades pelos danos ambientais e em firmar compromissos efetivos em relação aos países do Terceiro Mundo (ASSUNÇÃO, 2002).

Assunção (2002) afirma que os resultados da Conferência de Johannesburgo apontam não apenas para a estreita relação entre as questões ambientais, sociais, políticas e econômicas, como também para o fato de que as relações desiguais entre nações ricas e pobres, que levam a um fosso quase intransponível entre desiguais e acarretam graves problemas ambientais, apontadas pelo economista Celso Furtado na década de 70, ainda se apresentam sem solução.

Apesar dos avanços ocorridos nas últimas décadas, especialmente no que concerne à produção teórico-científica, às relações e acordos internacionais para conservação da

biodiversidade, às atitudes de alguns governos locais, à institucionalização e ao avanço das legislações específicas para o planejamento e implementação de políticas ambientais, ao avanço do setor produtivo e empresarial e do mercado internacional de bens e serviços, os resultados da Rio+10 vieram contribuir para o acirramento da discussão sobre a amplitude e a natureza do desenvolvimento sustentável, em seus aspectos teóricos e práticos (ASSUNÇÃO, 2002).

De acordo com CAVALCANTI (1998) sustentabilidade significa a possibilidade de se obter continuamente condições iguais ou superiores de vida para um grupo de pessoas e seus sucessores em dado ecossistema.

3.1.1- CRITÉRIOS DE SUSTENTABILIDADE

Para se compreender os sistemas agrícolas faz-se necessário ter em mente sua sustentabilidade, pois a agricultura é afetada pela evolução dos sistemas socioeconômicos e naturais (ALTIERI, 2000).

A sustentabilidade, de acordo com SACHS (1990), constitui-se num conceito dinâmico, que leva em conta as necessidades crescentes das populações, num contexto internacional em constante expansão. Para ele, a sustentabilidade tem como base 5 dimensões principais que são: as sustentabilidades social, cultural, ecológica, ambiental e econômica. A sustentabilidade social está vinculada a um padrão estável de crescimento, melhor distribuição de renda com redução das diferenças sociais. Já a sustentabilidade econômica está vinculada ao fluxo constante de inversões públicas e privadas além da destinação e administração corretas dos recursos naturais. A sustentabilidade ecológica está vinculada ao uso efetivo dos recursos existentes nos diversos ecossistemas com mínima

deterioração ambiental. A sustentabilidade geográfica está ligada à distribuição populacional no planeta, sendo necessário buscar uma configuração rural urbana mais equilibrada. A sustentabilidade cultural procuraria a realização de mudanças em harmonia com a continuidade cultural vigente.

Em fins da década de 80 teve início uma fase de grande conscientização ecológica na qual se reconhece que o atual modelo de produção agropecuária necessita de mudanças profundas visando maior conservação ambiental. Daí surge o termo que está na moda hoje: agricultura sustentável – indicando que uma produção agrícola equilibrada com o ambiente por gerações, sendo um desafio que precisa ser enfrentado no século XXI (REICHARDT & TIMM, 2004).

No desenvolvimento da agricultura sustentável, a FAO (Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura) e o INCRA (Instituto de Colonização e Reforma Agrária) fazem algumas recomendações: primeiro, consideram necessário implementar políticas científicas e tecnológica em sistemas que integram agricultura e pecuária, em produtos tradicionais e nos produtos dependentes de mão-de-obra. Também são recomendadas reestruturações dos serviços de extensão rurais, a promoção da integração vertical agricultura-pecuária, o incentivo à rotação de culturas, a indução de práticas de controle integrado de pragas, maior utilização da adubação orgânica, a conservação do solo através de práticas culturais como a cobertura verde e finalmente, a necessidade de desenvolver e apoiar a utilização de sistemas agro-florestais.

3.2- A AGRICULTURA SUSTENTÁVEL

Desde o início da humanidade sempre houve interação com o meio ambiente e consequências negativas, de maior ou menor grau aconteceram, porém elas têm chegado a níveis elevadíssimos atualmente. Porém, em nenhuma outra atividade humana, existe interação tão grande entre o ser humano e a natureza como na agricultura onde ocorrem grandes problemas ambientais (BRANDENBURG, 1999). Faz-se necessário gerar opção ao sistema agrícola depredador que ora impera. A agricultura sustentável é a opção que se viabiliza no momento.

“mais do que um conjunto definido de práticas, a agricultura sustentável é hoje apenas um objetivo. O que varia é a expectativa em relação ao teor das mudanças contidas nesse objetivo...”
(EHLERS, 1996).

Nos últimos anos, agricultores, técnicos e pesquisadores geraram o movimento alternativo de agricultura considerada sustentável (ALTIERI, 2000) e indica a construção de um caminho baseado nas condições ecológicas e socioeconômicas. O agricultor alternativo (ou sustentável) não privilegia exclusivamente a razão econômica. Também não releva primordialmente os princípios éticos da questão ambiental. Trata-se de um agricultor com dupla orientação, que considera a razão técnico-econômica e ao mesmo tempo a questão ambiental, envolvendo outros elementos de ordem cultural ou subjetiva, isto é, um agricultor que tende a construir um projeto de vida segundo uma razão socioambiental ou eco-social (EHLERS, 1996). Nesse sentido, as mudanças não tenderiam a reorganizar a agricultura segundo um novo paradigma de mudanças, mas seriam uma forma de organização da produção que ao incluir elementos de um outro padrão técnico de produção

forma um outro personagem na agricultura: o agricultor alternativo-sustentável (BRANDENBURG, 1999).

A produção agrícola sustentável, de acordo com Gliessman (2000), é possuidora de base ecológica. Nesse contexto, é aquela capaz de, perpetuamente, colher biomassa de um sistema, porque sua capacidade de se renovar ou ser renovado não é comprometida.

Nas décadas de 60 e 70, a idéia da modernização da agricultura ascendeu. O Estado forneceu a modernização dos latifundiários trazendo empresas de nível internacional, isso intensificou a produtividade, principalmente para aquelas empresas que visam a exportação. No entanto, esta prática levou e está levando ao empobrecimento de solos, devastação de florestas e a fragmentação e decomposição social e econômica da pequena agricultura familiar (LUCHESE et al., 2002).

Ainda assim, existe no Brasil o Programa Nacional da Agricultura Familiar (PRONAF) que é um programa de apoio ao desenvolvimento rural, a partir do fortalecimento da agricultura familiar, como segmento gerador de postos de trabalho e renda. O Programa é executado de forma descentralizada e tem como protagonistas os agricultores familiares e suas organizações.

A agricultura familiar é uma forma de produção, na qual predomina a interação entre gestão e trabalho, a direção do processo produtivo pelos agricultores familiares, com ênfase na diversificação e utiliza o trabalho familiar complementado pelo trabalho assalariado.

3.3- A AGRICULTURA FAMILIAR NA PARAÍBA

Na Paraíba, somente no ano de 2004, foram investidos através do PRONAF “A” cerca de R\$ 15 milhões, atendendo a 1.276 famílias em 70 municípios. A previsão para o ano de 2005 é destinar R\$ 27,8 milhões, cujos recursos são provenientes do Ministério do Desenvolvimento Agrário. Com isso, 2.452 famílias, que vivem da agricultura familiar, receberão o benefício (GOVERNO DA PARAÍBA..., 2005).

No ano de 2005 já foram disponibilizado R\$ 8,7 milhões para 728 famílias em 49 municípios (GOVERNO DA PARAÍBA..., 2005).

O grupo A do PRONAF é uma linha especial de crédito destinada aos assentados da Reforma Agrária e, com ela, os beneficiários poderão investir na melhoria de suas propriedades, como a perfuração de poços, construção de cercas, entre outros (PRONAF..., 2005).

3.3.1- A AGRICULTURA FAMILIAR NO MUNICÍPIO DE LAGOA SECA – PB

A modernização da agricultura esteve voltada para interesses de produtores agroindustriais e bastante alheia aos pequenos produtores em cujo contexto incluem-se os agricultores familiares do município de Lagoa Seca – PB. Estes se distribuem em 3 grupos: Agricultores de Roçado, Fruticultores e Verduzeiros, assim denominados por eles os horticultores que cultivam coentro, tomate, pimentão, repolho, cebolinha e alface.

Distinguem-se dois tipos de agricultores familiares: aqueles que plantam no período de chuva e muito pouco o fazem na estiagem, já que não têm condições de construir reservatórios de água, para utilização na época de estiagem, e aqueles que plantam o ano

todo, por possuírem uma melhor condição econômica para investimentos em reservatórios e sistemas de irrigação (BALCÃO & TEIXEIRA, 2003).

Adotando as técnicas agrícolas de adubação verde, rodízio de culturas, cobertura morta, adubos orgânicos e substituindo culturas mais exigentes em água por outras menos exigentes, os produtores de verduras do município de Lagoa Seca vêm conseguindo vencer a baixa fertilidade e a pequena produtividade agrícola. Segundo pesquisadores da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), a produção se manteve graças a decisão desses verdureiros de inovar. O grupo fez este estudo quando houve forte estiagem na região, entre 1997/98 (CONFEA, 2003).

Com propriedades menores que 10 hectares, esses agricultores familiares enfrentavam há anos a falta de recursos para investir na produção e a ausência de uma política de fortalecimento da agricultura familiar. Segundo esses pesquisadores, ao inovarem, eles criaram uma condição fundamental de viabilidade da agricultura familiar no município e fizeram surgir uma proposta inusitada de inseri-los no processo de gestão e difusão da inovação. Recuperaram técnicas, valores e tradições que permitem enfrentar a crise social e ambiental. “Esse será um grande avanço para a sua sustentabilidade social e política, na qual, via participação, eles passarão de excluídos e marginalizados à cidadãos”, estimam os pesquisadores. O município tem 90% das propriedades com menos de 10 hectares, e os agricultores trabalham em parceria com o Sindicato dos Trabalhadores Rurais e a Assessoria e Serviços a Projetos em Agricultura Alternativa, organização não-governamental que atua na Paraíba desde 1993 (CONFEA, 2003).

O município apresenta períodos de seca, tornando-se a água escassa à produção vegetal. Sua falta ou excesso afeta crucialmente o desenvolvimento das plantas. Algumas culturas chegam a consumir cerca de 98% de água em relação a sua massa, no entanto, essa

água passa pela planta perdendo-se para atmosfera (transpiração), esse fluxo de água é necessário para o desenvolvimento dos vegetais, condições estas que preocupam quando se quer desenvolver uma agricultura produtiva no Nordeste do Brasil que apresentam regiões áridas e semi-áridas e que só podem desenvolver-se as custas de irrigação (REICHARDT & TIMM, 2004).

3.4- ESCASSEZ DE RECURSOS HÍDRICOS

À medida que as populações e as atividades econômicas crescem, muitos países atingem condições de escassez de água ou se defrontam com limites para o desenvolvimento econômico. A demanda de água aumenta rapidamente, com 70-80% exigidos para a irrigação, menos de 20% para a indústria, e apenas 6% para consumo doméstico (LÉON & CAVALLINI, 1996; VON SPERLING, 1996a; HESPANHOL, 2003). Considerando-se essa distribuição da quantidade de água para os usos mais importantes, destaca-se que a agricultura ao consumir mais, deveria ser a mais controlada e exigida para diminuir esse gasto, implantar o reúso e otimizar as técnicas de irrigação e drenagem dos solos.

Com o aumento populacional e com os avanços tecnológicos, novos e maiores impactos foram e são mais freqüentes: a) produção de efluentes domésticos; b) a erosão seguida de alteração da paisagem pela presença de terras destinadas agricultura, pela urbanização e outras ao reflorestamento; c) alteração de canais de rios e margens de lagos por meio de diques, canalização, drenagem e inundações de áreas alagáveis e dragagem para navegação; d) supercolheita de recursos biológicos; e e) proliferação de agentes químicos tóxicos (MORAES & JORDÃO, 2002).

Além da escassez hídrica, que é grave em diversas regiões, deve-se considerar a questão da poluição concentrada e difusa de corpos hídricos. Processos de eutrofização, metais pesados, acidificação, poluentes orgânicos e outros efluentes tóxicos degradam os corpos hídricos de áreas densamente povoadas, comprometendo assim a qualidade da água (HESPANHOL, 2003).

Segundo BEEKMAN (1996), como a demanda pela água continua a aumentar, o retorno das águas servidas e o seu reúso vem se tornando um componente importante no planejamento dos recursos hídricos, tanto em regiões áridas, como em regiões úmidas. A utilização das águas servidas para propósitos de uso não potável, como na agricultura, representa um potencial a ser explorado em substituição à utilização de água tratada e potável.

3.5- TIPOS DE REÚSO

Conforme o GRUPO TÉCNICO DE REÚSO DE ÁGUA (2002), as modalidades ou tipos de reúso considerados prioritários são os seguintes: agrícola, urbano para fins não potáveis, industrial, recreação, recarga de aquíferos e aquíicultura.

Essas modalidades de reúso não são consideradas exclusivas, podendo mais de uma delas ser empregada simultaneamente em um mesmo município ou região.

Segundo o CIRRA - Centro Internacional de Referência em Reúso de Água (2003), o setor agrícola é o que utiliza mais água no Brasil, essa demanda associada à escassez de recursos hídricos ressalta a importância que as atividades agrícolas tem nas políticas de manejo da água, sendo o reúso uma forma de reduzir o emprego de água de boa qualidade ao substituí-lo por água de qualidade inferior.

3.5.1- POTENCIALIDADE DO REÚSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS TRATADAS NA AGRICULTURA

O aumento do consumo e da poluição das águas superficiais tornou imperativa a gestão sustentável dos recursos hídricos. A utilização de esgotos tratados na irrigação é uma alternativa bastante atrativa. A aplicação da água e dos nutrientes contidos nos efluentes de ETEs pode reduzir o consumo de água de boa qualidade e ao mesmo tempo substituir a necessidade de fertilizantes comerciais (PAGANINI, 2003).

Segundo Bastos et al. (2003) e Léon & Cavallini (1996), a utilização controlada de esgotos sanitários tratados apresenta diversas vantagens, dentre as quais se destacam:

- Economia de água facilitando outros usos (prioridade - abastecimento humano).
- Constitui uma prática de reciclagem de nutrientes, proporcionando economia de insumos, como, fertilizantes na agricultura e piscicultura.
- Contribui para o aumento da produção de alimentos, para a recuperação de áreas improdutivas e para a ampliação das áreas irrigadas.
- Contribui para a preservação e a proteção do meio ambiente: (i) minimiza o lançamento de esgotos em cursos de águas, diminuindo as cargas poluidoras, a contaminação e a eutrofização; (ii) favorece a conservação do solo e a recuperação das áreas degradadas.
- Contribui para a amenização do clima, a melhoria das condições estéticas e a ampliação das áreas de lazer em zonas urbanas (irrigação e fertilização de “Zonas verdes”, como parques públicos, jardins, campos para prática desportiva, canteiros e arborização de logradouros).

3.6- FERTIRRIGAÇÃO

A fertirrigação é a técnica que permite aplicar fertilizantes às culturas numa dosagem diária, via água de irrigação. Segundo Papadopoulos (1999), a necessidade de aumentar a produtividade agrícola em virtude da demanda populacional, faz com que a prática da fertirrigação seja importante e bastante usada, sendo capaz de promover acréscimo nos rendimentos a serem alcançados. A importância do reúso no contexto da fertirrigação fica evidente ao observar que a explosão demográfica é inversamente proporcional à disponibilidade dos recursos naturais (dentre eles, a água) e de novas terras aptas à expansão agrícola.

Dentre as vantagens da fertirrigação pode-se citar: menor uso de mão-de-obra e fertilizantes, aplicação de fertilizantes no momento e no local que a planta necessita, e, em consequência, maior eficiência no uso dos nutrientes pela planta, proporcionando melhor uniformidade de aplicação. Em contrapartida, existem alguns aspectos limitantes como, a falta de recomendações apropriadas quanto às técnicas de irrigação com esgotos, ao tratamento dos solos, disponibilidade de produtos específicos e sistemas de irrigação mal dimensionados. Práticas inadequadas causam sérias consequências ao meio ambiente, entre eles a salinização e ou alcalinização das áreas irrigadas (SOUSA & SOUZA, 1993). A salinização poderá ser acelerada pelo uso de fertilizantes mais salinos, normalmente de menor custo e mais atrativo ao agricultor além do que as águas residuárias brutas e tratadas transportam cargas salinas superiores às águas normalmente usadas na irrigação.

3.7- SALINIZAÇÃO E SODIFICAÇÃO DOS SOLOS

Os solos contêm uma mistura de sais solúveis, dos quais muitos são essenciais ao desenvolvimento das plantas, e outros não são prejudiciais quando em baixas concentrações. No entanto, quando as concentrações de sais são excessivas o desenvolvimento da planta é prejudicado (MAAS, 1985; AYERS & WESTCOT, 1991).

Cavalcante (2000) classifica a concentração de sais conforme sua natureza e a concentração de íons, tendo como objetivo diagnosticar o estado atual do nível de salinização e de alcalinização dos solos. Vários são os fatores que contribuem para o acúmulo de sais no solo como: salinização natural, técnicas de irrigação, qualidade da água, tipos de sais e profundidade efetiva, solubilização, utilização excessiva de fertilizantes, características físicas dos solos, entre outros.

A condutividade elétrica representa a concentração total de sais solúveis em meio aquoso, na qual a soma de cátions a ânions deve ser semelhante ao extrato de saturação do solo. Segundo Richards (1954) a percentagem de sódio trocável (PST) pode ser obtida pela relação dos teores trocáveis de sódio (Na^+) com a capacidade de troca catiônica do solo (CTC) (Equação 1), ou através da correlação entre a relação de adsorção de sódio (RAS) (Equação 2) que é calculada com os dados de sódio, cálcio e magnésio solúveis obtidos da pasta de saturação, como mostra Equação 3.

$$PST = 100 \left(\frac{\text{Na}^+}{CTC} \right) \quad (1)$$

PST: Porcentagem de Sódio Trocável (%)

Na^+ : Sódio Trocável ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)

CTC: $\text{S Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+ + \text{K}^+$ ($\text{cmol}_c.\text{dm}^{-3}$)

$$RAS = Na^+ \left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2} \right)^{-1/2} \quad (2)$$

$$PST = \frac{100(0,01475 RAS - 0,0126)}{1 + (0,01475 RAS - 0,0126)} \quad (3)$$

RAS: Relação de Adsorção de Sódio ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)
 Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} ($\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$)

A quantidade de sais presentes nas águas de qualidade inferior pode causar na agricultura sua acumulação, principalmente em regiões áridas e semi-áridas, onde a evapotranspiração é superior a precipitação pluviométrica.

Nas águas de irrigação, dois riscos são estudados simultaneamente. O risco da salinidade, expresso pela condutividade elétrica (C), (que é classificado em quatro categorias), e o risco da alcalinidade ou sodicidade, denominado de (S) e definido pela RAS, significando perigo de sódio (também classificado em quatro categorias). Segundo Richards (1954) os dois riscos (CS) da água podem ser classificados em ótima, boa, limitada e inadequada para irrigação (Tabela 1).

TABELA 1. Classificação das águas pela condutividade elétrica a 25°C e pela relação de adsorção de sódio-RAS

Classe	Perigo de Salinização (C)	Tipo	Perigo de Alcalinização (S)	Tipo
	dS.m ⁻¹		mmol.L ⁻¹	
C ₁ S ₁	0,10 – 0,25	C1	Até 8	S ₁
C ₁ S ₂			8 – 16	S ₂
C ₁ S ₃			16 – 23	S ₃
C ₁ S ₄			> 23	S ₄
C ₂ S ₁	0,25 – 0,75	C2	Até 6	S ₁
C ₂ S ₂			6 – 13	S ₂
C ₂ S ₃			13 – 19	S ₃
C ₂ S ₄			> 19	S ₄
C ₃ S ₁	0,75 – 2,25	C3	Até 4	S ₁
C ₃ S ₂			4 – 9	S ₂
C ₃ S ₃			9 – 14	S ₃
C ₃ S ₄			> 14	S ₄
C ₄ S ₁	> 2,25	C4	Até 4	S ₁
C ₄ S ₂			4 – 7	S ₂
C ₄ S ₃			7 – 12	S ₃
C ₄ S ₄			> 12	S ₄

C: condutividade elétrica, S: sodicidade

Fonte: Cavalcante, 2000

A utilização de águas de qualidade inferior na agricultura pode trazer impactos positivos como a conservação de nutrientes para os cultivos e conseqüentemente ampliação da produção agrícola, como também negativos como, por exemplo, efeitos adversos à saúde do agricultor e consumidor dos produtos irrigados, aumento da salinização e sodificação dos solos, entre outros (LÉON & CAVALLINI, 1996).

3.8- TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

O sentido da palavra águas residuárias enquadra inúmeras modalidades de despejos, tais como: águas de usos domésticos, comercial, industrial, de utilidade pública, de áreas

agrícolas, de superfície de infiltração, pluviais e de outros efluentes sanitários (LA ROVERE, 2002).

Os esgotos domésticos são constituídos aproximadamente de 99,9% de líquido (água) e 0,1% de material sólido. Esta fração sólida é a grande responsável pelos problemas de contaminação e poluição, pois cerca de 30% deste material são minerais (inorgânicos) e a outra fração de natureza orgânica é constituída de proteínas (40 a 60%), carboidratos (25 a 50%), e gorduras e óleos (10%) e uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas (JORDÃO & PESSOA, 1995).

A composição dos esgotos depende dos usos das águas de abastecimento e varia com o clima, os hábitos e as condições sócio-econômicas da população e da presença de efluentes industriais, infiltração de águas pluviais, idade das águas residuárias, entre outros. Apesar de sua composição variar, os esgotos apresentam uma fração sólida, basicamente matéria orgânica e diversidade de microrganismos (bactérias, fungos, protozoários e helmintos) (BRAGA et al., 2002). Segundo Foresti et al., (1999), os esgotos domésticos são caracterizados pela composição do material orgânico biodegradável que favorecem os sistemas de tratamento baseados na ação biológica dos microrganismos.

O tratamento biológico de águas residuárias se baseia na ação conjunta de diferentes espécies de microrganismos, em bioreatores, que operados sob condições apropriadas de temperatura, mistura e tempo de residência, resulta na estabilização da matéria orgânica.

Os sistemas biológicos de tratamento de resíduos devem atender aos seguintes aspectos: (1) – remoção da matéria orgânica (portanto, redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio do resíduo); (2) – decomposição de compostos químicos orgânicos de difícil degradação (recalcitrantes); (3) – fornecimento de um efluente em condições que não

afetem o equilíbrio do sistema receptor (rios, lagos, etc.) (VAZOLLER, 1995; GLAZER & NIKAIDO, 1995).

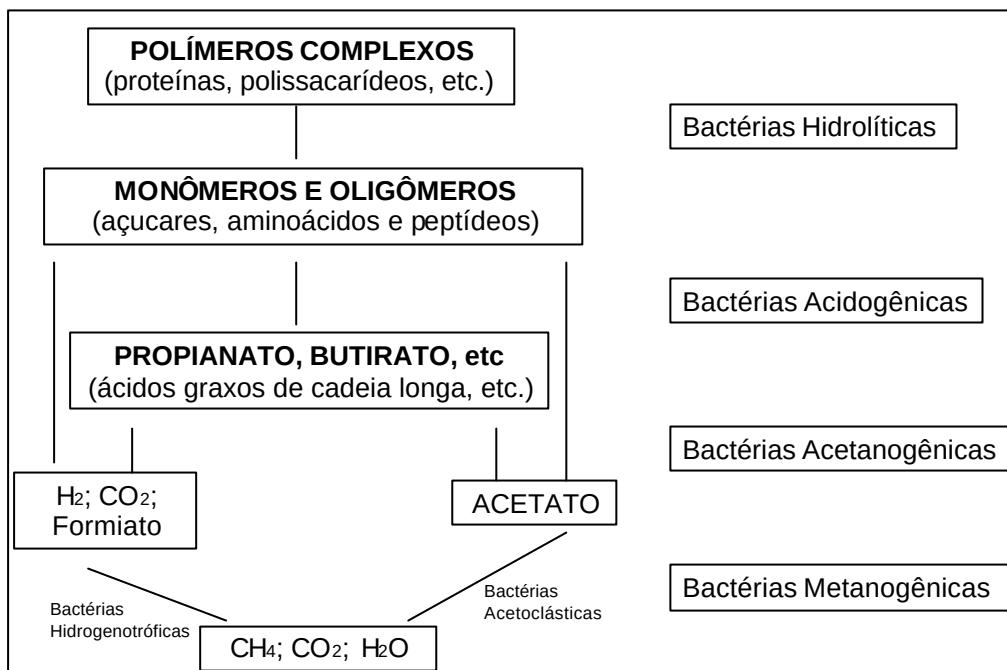
O volume de informações existentes sobre os aspectos básicos dos processos de tratamento biológico de rejeitos, nos campos da engenharia e microbiologia, possibilita a adoção de diferentes tipos de reatores, com elevado desempenho e eficiência na redução da Demanda Bioquímica de Oxigênio (GLAZER & NIKAIDO, 1995).

A utilização de sistemas de tratamento baseado em processos biológicos resulta na transformação de substâncias complexas em compostos mais simples, por meio da ação de microrganismos, que oxidam e decompõem a matéria orgânica. Na oxidação biológica o processo pode desenvolver por duas vias: aeróbia e anaeróbia. O processo aeróbio ocorre por meio de bactérias que respiram ou consomem oxigênio (as bactérias aeróbias precisam de O_2 (oxigênio gasoso livre) na proporção de 20%); enquanto que no anaeróbio a decomposição da matéria orgânica ocorre na ausência de oxigênio livre e utiliza outro tipo de receptor de elétrons, que pode ser a própria matéria orgânica, sendo então denominada fermentação ou pode ser anóxico, quando o aceptor de elétrons é o NO_3^- sendo este o metabolismo das bactérias desnitrificantes, ou pode ser SO_4^{2-} (bactérias redutoras de sulfato), ou o CO_2 (bactérias metanogênicas), entre outros (BRANCO, 1986; VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994). No entanto, em ambas vias o mecanismo principal de transformação da matéria orgânica é o metabolismo bacteriano.

O metabolismo engloba processos denominados de catabolismo e anabolismo. No catabolismo (oxidativo e fermentativo) as bactérias utilizam substâncias orgânicas como fonte de energia (decomposição). No anabolismo ocorre a biosíntese, sendo o material orgânico incorporado à própria célula (sínteses do material celular). No catabolismo oxidativo (respiração) a oxidação da matéria orgânica ocorre através de um agente

oxidante, podendo ser este o oxigênio molecular (respiração aeróbia) ou quando o receptor de elétrons for nitrato ou sulfato (respiração anaeróbia). No catabolismo fermentativo os microrganismos metabolizam o material orgânico na ausência de um oxidante externo. Neste processo ocorre um rearranjo de elétrons na molécula que está sendo metabolizada, de modo que se formam outras moléculas mais simples com liberação de energia (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Nos processos anaeróbios ou nos sistemas de biodigestão anaeróbia, a degradação da matéria orgânica envolve a atuação de microrganismos procarióticos anaeróbios facultativos, que pertencem ao grupo de bactérias hidrolíticas-fermentativas, acetogênicas produtoras de hidrogênio e metanogênicas. A bioconversão da matéria orgânica poluente com produção de metano requer a cooperação entre grupos de bactérias como ilustrado na Figura 1. Na atividade microbiana anaeróbia em biodigestores, como também em habitats naturais com formação de metano (sedimentos aquáticos, sistema gastrointestinal de animais superiores, pântanos, etc.), ocorre a oxidação de compostos complexos, resultando nos precursores do metano, acetato e hidrogênio (GUJER & ZEHNDER, 1983).



Fonte: adaptado de Metcalf & Eddy, 2003

FIGURA 1. Fluxo de carbono na decomposição anaeróbica da matéria orgânica complexa a metano e os grupos de bactérias participantes

3.8.1- PROCESSO DE DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbica pode ser considerada como um ecossistema no qual diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico e amônia, além de novas células bacterianas.

Chernicharo (1997); Van Haandel e Lettinga, (1994) e Metcalf & Eddy, (2003) mostram que a digestão anaeróbica é constituída de uma série de reações bioquímicas realizada basicamente em quatro fases (como a Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese), mediante diversos grupos de bactérias, em ausência de oxigênio livre, conforme Figura 1:

- Fase de Hidrólise

Bactérias hidrolíticas não são capazes de assimilar a matéria orgânica particulada, a primeira fase no processo de degradação anaeróbia consiste na dissolução de material particulado complexo (polímeros) em materiais dissolvidos de moléculas mais simples (moléculas menores) os quais podem atravessar as paredes celulares das bactérias hidrolíticas fermentativas. Esta conversão de material particulado em dissolvido é conseguida através da ação de exoenzimas excretadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Na anaerobiose, a hidrólise dos polímeros usualmente ocorre de forma lenta, sendo vários os fatores que podem afetar o grau e a taxa em que o substrato é hidrolisado tais como nos reatores anaeróbios: a temperatura operacional do reator; o tempo de residência do substrato no reator; a composição do substrato (ex: teores de lignina, carboidrato, proteínas e gordura); tamanho das partículas; pH do meio; concentração de $\text{NH}_4^+ \text{-N}$; concentração de produtos da hidrólise (ex.: ácidos graxos voláteis).

- Fase de Acidogênese

Os produtos solúveis oriundos da fase de hidrólise são metabolizados no citoplasma celular das bactérias fermentativas, sendo transformados em diversos compostos mais simples e os produtos metabólicos secundários são então excretados pelas células. Os compostos produzidos incluem ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido lático, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas. Como os ácidos graxos voláteis são o principal produto dos organismos fermentativos, são usualmente designados como bactérias fermentativas acidogênicas. O processo é efetuado por diversos grupos de bactérias fermentativas, a exemplo dos gêneros *Clostridium* e *Bacteroides*. As primeiras constituem uma espécie anaeróbia que forma esporos, podendo

dessa forma, sobreviver em ambientes adversos. As bacteróides encontram-se comumente presentes no trato digestivo de animais homeotérmicos, participando da degradação de açúcares e aminoácidos.

- Fase da Acetogênese

As bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica em substrato apropriado para as bactérias metanogênicas. Dessa forma, as bactérias acetogênicas fazem parte de um grupo metabólico intermediário que produz substrato para as metanogênicas. Os produtos gerados pelas bactérias acetogênicas são o hidrogênio, o dióxido de carbono e o acetato. Durante a formação dos ácidos acético e propiônico, uma grande quantidade de hidrogênio é formada, fazendo com que o valor do pH no meio aquoso decresça. De todos os produtos metabolizados pelas bactérias acidogênicas, apenas o hidrogênio e o acetato podem ser utilizados diretamente pelas metanogênicas. Porém, pelo menos 50% da DQO biodegradável é convertida em propionato e butirato, os quais são posteriormente decompostos em acetato e hidrogênio pela ação das bactérias acetogênicas.

- Fase da Metanogênese

A etapa final no processo global de degradação anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada pelas bactérias metanogênicas. As metanogênicas utilizam somente um limitado número de substratos, compreendendo ácido acético, hidrogênio /dióxido de carbono, ácido fórmico, metanol, metilaminas e monóxido de carbono. Em função de sua afinidade por substrato e magnitude de produção de metano, as metanogênicas são divididas em dois grupos principais, um que forma metano a partir de

ácido acético ou metanol, e o segundo que produz metano a partir de hidrogênio e dióxido de carbono, como a seguir:

- ✓ bactérias utilizadoras de acetato (acetoclásticas);
- ✓ bactérias utilizadoras de hidrogênio (hidrogenotróficas).

3.9- TRATAMENTO DE ESGOTOS EM REATOR UASB (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo)

O crescente interesse pela produção de gás metano devido à demanda energética mundial nos últimos tempos, tem ajudado na evolução do tratamento anaeróbio (McCARTY, 1981). Com isto, novas tecnologias vem sendo desenvolvidas para melhorar o desempenho e otimizar a economia dos processos de tratamento e da configuração dos reatores. Segundo Van Haandel & Lettinga (1994) os sistemas utilizados no início do século passado eram Tanque Séptico e Tanque Imhoff que apresentavam eficiência máxima de 30 a 40% da remoção de matéria orgânica.

Noyola & Morgan (1993) classificam os reatores como de 1ª, 2ª e 3ª gerações. Os reatores de 1ª geração são aqueles em que a biomassa encontra-se em suspensão. Neste caso, o Tempo de Retenção Celular (TRC) é igual ao Tempo de Detenção Hidráulica (TDH), sendo exemplos: Fossa Moura, Tanque Séptico, Tanque Imhoff, Lagoa Anaeróbia, Reator Convencional e Reator Anaeróbio de Contato. Os reatores de 2ª geração são aqueles nos quais os microrganismos encontram-se retidos dentro do reator, devido à presença de um suporte ou, então, pelas suas características de boa sedimentação. Nestes reatores o TDH pode ser bem menor que TRC, são exemplos: Filtro Anaeróbio e Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente, conhecido como UASB. Os de 3ª geração são aqueles no qual os

microrganismos se encontram aderidos a um suporte que pode ser expandido ou fluidizado. O material suporte deve apresentar grandes áreas de superfície para adesão de microrganismos e são exemplos: Reator Anaeróbio de Leito Expandido e Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado.

Um grande avanço tecnológico na aplicação de processos de digestão anaeróbia no tratamento de esgotos deve-se ao desenvolvimento do reator UASB. Sua eficiência está relacionada à direção do fluxo e à configuração (apresentando um separador trifásico), que permite maior tempo retenção celular e de lodo biológico, além de proporcionar uma adequada agitação e mistura entre o esgoto e o leito de lodo (FORESTI et al., 1999). O reator UASB consiste em uma alternativa de baixo custo no tratamento de esgotos domésticos, proporcionando uma remoção de cerca de 70% de DBO e baixo Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 5 a 8 horas (ALÉM SOBRINHO & KATO, 1999).

O esgoto a ser digerido é distribuído na parte inferior do reator, entra em contato com a zona de digestão promovendo a biodecomposição da matéria orgânica, gerando a formação de biogás e o crescimento do lodo. Na sua trajetória ascensional, as bolhas de gás encontram a interface líquido-gás no separador de fases (que é mantida mediante um selo hídrico externo). O gás fica acumulado na parte superior, e os flocos de lodo eventualmente agregados as bolhas tendem a sedimentar. No caso de acúmulo de lodo sobre os defletores de gás, estes tendem a tornar para zona de sedimentação quando o acúmulo aumenta, ocasionando um deslize, devido o peso do lodo exceder sua própria força de atrito. Portanto, a presença de um separador trifásico resulta em maior retenção de lodo na zona de digestão e permite que o líquido seja descarregado livre de sólidos sedimentáveis (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

Segundo Jordão e Pessoa (1995), para que o tratamento tenha eficiência, é necessário que se mantenha um ótimo contato entre a biomassa dos esgotos afluentes e o esgoto em tratamento. Este contato só será obtido se houver cuidado redobrado na construção do projeto de engenharia para evitar o aparecimento de curtos-circuitos (caminhos preferenciais que diminuem o contato), formação de zonas mortas e colmatação ou entupimento de sistemas de distribuição mal projetados.

Para que estes fatores não ocorram deve-se ter cuidadosa atenção em parâmetros como, Carga Orgânica Mássica, Carga Orgânica Volumétrica, Tempo de Detenção Hidráulica, Velocidade de Fluxo Ascendente, Altura do Reator, Sistema de Distribuição de Alimentação, Separador Trifásico Sólido/Líquido/Gás e Material de Construção (LETTINGA et al. 1980 apud LA ROVERE, 2002).

O efluente do reator UASB apresenta-se com características indesejáveis quanto ao seu lançamento em corpos d'água, devido a sua grande quantidade de nutrientes, acarretando assim futuros problemas como eutrofização. Basicamente, o nitrogênio e o fósforo apresentam-se na forma de nitrogênio amoniacal e de ortofosfato. Efluente com estas características pode se apresentar adequado para a irrigação agrícola promovendo a adubação de plantas e fertilidade do solo. Para isso, faz-se necessário que o efluente esteja dentro dos padrões de qualidade sanitária exigida pelos órgãos competentes para uso na irrigação, caso contrário torna-se perigoso à saúde.

Mesmo provocando remoção de microrganismos patogênicos o efluente final do reator UASB não apresenta qualidade sanitária adequada aos padrões recomendados pela OMS (Organização Mundial de Saúde) para reuso irrestrito na agricultura, sendo necessário um pós-tratamento desse efluente para usos mais exigentes.

3.10- TRATAMENTO DE ESGOTO EM LAGOA DE ESTABILIZAÇÃO

A lagoa de estabilização é um reator biológico dimensionado dentro de critérios técnicos que, ao receber esgoto bruto, submete a degradação biológica à carga orgânica, estabilizando-a e reduzindo a concentração de microrganismos existentes. A estabilização é realizada pela biodegradação, efetuada por populações de diversos microrganismos com predominância das bactérias. O processo pode ser aeróbio, anaeróbio ou fermentativo.

Estes sistemas constituem os métodos mais utilizados no Brasil e em regiões de clima quente. As principais vantagens de sua utilização são: simples construção e operação, elevada redução de microrganismos indicadores e patogênicos, não usa energia e elevada capacidade de adaptação aos aumentos bruscos de carga hidráulica e orgânica. Uma desvantagem apresentada por este sistema é a utilização de grandes áreas, maiores que qualquer outro sistema de tratamento (MENDONÇA, 1990; VON SPERLING, 1996b).

A estabilização da matéria orgânica se baseia em dois princípios biológicos fundamentais: respiração e fotossíntese. Na lagoa tipo facultativa, se estabelece um ciclo em que organismos fotossintetizantes sintetizam matéria orgânica, liberando oxigênio molecular no meio, e os organismos heterótrofos que se alimentam de matéria orgânica, utilizando oxigênio molecular para sua oxidação, liberam como subproduto dessa biodegradação, gás carbônico necessário à fotossíntese e sais dissolvidos (NO_3^- , PO_4^{2-} , etc).

Mesmo no Brasil, com condições de clima favorável, é necessário que o TDH das lagoas sejam elevados, pois o líquido necessita permanecer no sistema tempo suficiente para que ocorra a biodegradação da matéria orgânica e haja a remoção de ovos de helmintos e elevada redução de coliformes fecais, objetivando garantir um efluente final com boa qualidade microbiológica (CAVALCANTI, 2003).

Existem diferentes tipos de lagoas de estabilização. Na Tabela 2 constam de forma sucinta os principais.

TABELA 2. Descrição de alguns dos principais sistemas de lagoas de estabilização

Sistema	Descrição
Lagoa facultativa	A DBO solúvel e finamente particulada é estabilizada aerobiamente por bactérias dispersas no meio líquido, ao passo que a DBO suspensa tende a sedimentar, sendo estabilizada anaerobiamente por bactérias no fundo da lagoa. Oxigênio requerido pelas bactérias aeróbias é fornecido pelas algas, através da fotossíntese. As bactérias fermentadoras agem em toda a lagoa.
Lagoa anaeróbia – lagoa facultativa	A DBO é em torno de 50% estabilizada na lagoa anaeróbia (mais profunda e com menor volume), enquanto parte da DBO remanescente é removida na lagoa facultativa. O sistema ocupa uma área inferior ao de uma lagoa facultativa única ou primária.
Lagoa aerada de mistura completa – lagoa de decantação.	A energia (aeração mecânica) introduzida por unidade de volume de lagoa é elevada, os sólidos permanecem dispersos no meio líquido. O decorrente aumento do contato das bactérias com o material orgânico e a disponibilidade de oxigênio favorece o metabolismo, havendo maior remoção da DBO e crescimento bacteriano. No entanto, o efluente contém elevados teores de sólidos (bactérias) que precisam ser removidos. A lagoa de decantação à jusante, promove a remoção desses sólidos. O lodo da lagoa de decantação precisa ser removido em períodos de poucos anos.
Lagoa de maturação	Lagoa de maturação objetiva a redução de organismos patogênicos. Condições ambientais adversas contribuem para a redução de patogênicos: radiação solar em toda a coluna de água, altas concentrações de OD, produção de toxinas pelas algas e elevado tempo de detenção hidráulica, pH elevado e predação por outros organismos. As lagoas de maturação constituem um pós-tratamento de processos que removem significativamente material orgânico.

Fonte: Adaptado de CAVALCANTI et al.,(2001); VON SPERLING, (1996b)

Varias associações de lagoas tem sido desenvolvidas com intuito de reduzir o tempo e áreas de construção. Dentre as associações destacam-se: sistema de lagoa anaeróbia – lagoa facultativa seguida de pós-tratamento em lagoa de maturação, promovendo assim com esta configuração uma melhor remoção de material orgânico (CAVALCANTI et al., 2001).

3.11- PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE REATOR UASB EM LAGOA DE POLIMENTO

Quando se aplica pré-tratamento anaeróbio seguido de lagoa de estabilização, as concentrações de matéria orgânica e sólidos em suspensão são bastante reduzidas, facilitando a eficiência do sistema e reduzindo o TDH. O limite do tratamento é dado pela redução de organismos patogênicos e não pela estabilização da matéria orgânica (CAVALCANTI, 2003).

Segundo Cavalcanti et al., (2001) denomina-se lagoa de polimento (LP) aquela que trata efluentes de sistema de tratamento anaeróbio, distinguindo-se de lagoas de estabilização que tratam esgoto bruto.

O sistema UASB seguido de LP tem como principais objetivos, reduzir a concentração de organismos patogênicos e nutrientes, além de melhorar a relação custo-benefício, minimizando custos de construção e operação e promovendo um efluente de melhor qualidade, tentando adequar-se aos padrões exigidos pela legislação.

3.11.1- MECANISMOS DE REMOÇÃO DE PATÓGENOS E NUTRIENTES EM LAGOA DE POLIMENTO

Cavalcanti et al., (2001) comentam que em lagoas de polimento a eficiência está associada à variação do pH. A estabilização da matéria orgânica gera CO_2 , que dissolvido na água gera um ácido fraco que tende a baixar o pH. A estabilização do material orgânico gera CO_2 que é consumido na fotossíntese, elevando o pH, chegando a favorecer na lagoa de polimento a remoção de alguns nutrientes.

Quando o pH sobe para 8,5, o íon amônio (NH_4^+) tende a se transformar na forma de amônia molecular livre (NH_3), um gás que se desprende da fase líquida, havendo assim a dessorção de nitrogênio. O aumento do pH favorece o decaimento de microrganismos.

A elevação do pH resulta também no desequilíbrio de espécies de fosfato e numa maior concentração de íon PO_4^{3-} , que por sua vez pode resultar na precipitação de sais de fosfato como hidroxiapatita $\text{Ca}_{10}(\text{OH})_2(\text{PO}_4)_6$ e estruvita $\text{Mg}(\text{NH}_4)\text{PO}_4$ (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

A remoção de nutrientes em efluentes é vantajosa quando se busca lança-los em corpos d'água (evitando o crescimento exagerado de algas). No caso de uso do efluente na agricultura há interesse de manter os nutrientes no efluente, uma vez que estes poderão substituir os fertilizantes químicos ao serem adicionados no solo junto à água de irrigação (fertirrigação).

Os esgotos domésticos apresentam grande variedade de organismos patogênicos, distinguindo-se bactérias, protozoários, vírus e helmintos. Na impossibilidade de determinar todos estes tipos de organismos, foram adotados como indicadores de qualidade microbiológica de contaminação fecal, a concentração de coliformes termotolerantes (expressa em UFC/100mL) e ovos de helmintos (expresso em número de ovos/L). A escolha destes indicadores recai sobre o fato de que estes apresentam uma boa correlação de sobrevivência em sistemas de tratamento com as bactérias enteropatogênicas (CAVALCANTI et al., 2001).

Na Tabela 3 constam às recomendações da OMS (1989) para uso na agricultura, de efluentes tratados.

TABELA 3. Recomendações da OMS (1989) para o uso na agricultura das águas residuais tratadas (a)

Categoria		A	B	C
Finalidades da utilização das águas		Irrigação de vegetais consumidos usualmente crus; campos de esportes; parques públicos (e)	Irrigação de cereais; de cultivos industriais; de cultivos para produção de rações; de pastos; de árvores (g)	Irrigação localizada de cultivos incluídos no nível B, se não houver a exposição de trabalhadores agrícolas nem do público.
Grupo exposto		Trabalhadores agrícolas; consumidores; público em geral.	Trabalhadores agrícolas	Nenhum
Nematóides intestinais (b)	(média aritmética do número de ovos/L) (c)	≤ 1 (f)	≤ 1	Não aplicável
Coliformes fecais	(média geométrica do número por 0,1 litro) (d)	≤ 1.000	Nenhum padrão recomendado	Não aplicável
Tratamento necessário para a água alcançar o padrão exigido de qualidade microbiológica		Uma série de lagoas de estabilização projetadas para se alcançar a qualidade indicada, ou tratamento semelhante.	Retenção, em lagoa de estabilização, por 8 a 10 dias, ou processo equivalente de remoção de helmintos e coliformes fecais.	Pré-tratamento como o requerido pela tecnologia de irrigação, mas nunca menos do que uma fase de sedimentação primária.

(a) Em casos específicos, os fatores locais epidemiológicos, sócio-culturais e ambientais deveriam ser levados em conta e em conformidade as pautas deveriam ser modificadas, tornando-as mais rigorosas.

(b) Espécies *Ascaris* e *Trichuris* e *Anquilostomas*.

(c) Durante o período de irrigação.

(d) Uma pauta mais rigorosa (≤ 200 UFC/100 ml) é apropriada para espaços públicos, tais como hotéis, com o qual o público poderia ter contato direto.

(e) No caso de árvores frutíferas, a irrigação deveria cessar duas semanas antes da colheita das frutas, e nenhuma fruta deveria ser recolhida do solo.

(f) Deveria ser usada irrigação com aspersores.

Os ovos de helmintos podem sobreviver por anos em sistemas de tratamento de esgoto. Desta forma sua redução ocorre pela sedimentação física, resultado da adsorção em flocos de lodo ou sedimentação. Como normalmente o tempo de detenção em lagoas é longo, facilmente a remoção de ovos de helmintos é alcançada (SOARES et al., 2000). Por outro lado, a redução de coliformes termotolerantes (CTerm) resulta de um metabolismo de decaimento das bactérias de forma lenta, geralmente ocorre na ordem de 10 (ou 1 ordem

decimal) em cada lagoa, por esta razão torna-se fator determinante no TDH de lagoas (MARAIS, 1974 apud CAVALCANTI et al., 2001).

3.12- A MATÉRIA ORGÂNICA NOS SOLOS

Nos processos de degradação da matéria orgânica, tanto em efluentes para fertirrigação (ex: esgotos domésticos) como de adubos orgânicos, são de natureza bioquímica e envolve uma série de microrganismos. Durante a decomposição da matéria orgânica, ocorrem dois processos, a mineralização e a humificação (MARQUES et al., 2003; LUCHESE et al., 2002; RAIJ, 1991).

Na mineralização a liberação de CO_2 e sais minerais assim como de compostos orgânicos mais simples ocorre também à liberação de nutrientes para o meio como NO_3^- , PO_4^{3-} , K^+ entre outros. A humificação corresponde a polimerização destes compostos orgânicos formando estruturas de até 50.000u (u = unidade de massa atômica), após humificado, determinados grupos presentes nos compostos formados, caracterizam a atividade da matéria orgânica no solo, dentre os quais se pode citar os grupos carboxílicos ($-\text{COOH}$), os fenólicos (aro-OH-), os metóxidos ($-\text{OCH}_3$) e os aminicos (NH_2). Os 2 primeiros são mais atuantes, podendo até formar sais, denominados de humatos (LUCHESE et al., 2002).

Segundo Malavolta et al. (2000) e Luchese et al. (2002), a matéria orgânica é de fundamental importância, pois ela atua nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, corrigindo e melhorando a fertilidade do solo além de influenciar nos seguintes aspectos:

- na formação de agregados, reduzindo a plasticidade e coesão do solo, proporcionando maior permeabilidade para o ar e uma maior difusão do mesmo no solo, melhorando assim a oxigenação para respiração da biota ali presente;
- no aumento da capacidade de retenção de água pelo solo;
- no aumento da capacidade de troca catiônica (CTC) e aniônica (CTA);
- na disponibilização de macro e micronutrientes;
- no controle do pH do solo devido a seu efeito tampão;
- na produção de substâncias ativadoras e ou inibidoras do crescimento de microrganismos entre outros.

Atualmente, a matéria orgânica dos resíduos sólidos é preparada de forma técnica, através da compostagem antes de ser aplicada no solo. Os lodos dos esgotos, ricos em M.O., são transformados em bio sólidos antes de serem empregados na adubação.

3.13- ABSORÇÃO DE NUTRIENTES

No desenvolvimento dos vegetais, o sistema radicular absorve água e nutrientes. A

Tabela 4 mostra os nutrientes essenciais para a vida vegetal.

TABELA 4. Disponibilidade de macronutrientes e micronutrientes essenciais às plantas

Macronutrientes	Formas de absorção	Micronutrientes	Formas de absorção
Nitrógeno	NO_3^- ; NH_4^+	Zinco	Zn^{2+}
Fósforo	H_2PO_4^- ; HPO_4^{2-}	Cobre	Cu^{2+}
Potássio	K^+	Manganês	Mn^{2+}
Cálcio	Ca^{2+}	Ferro	Fe^{2+}
Magnésio	Mg^{2+}	Boro	H_3BO_3 ; H_2BO_3^-
Enxofre	SO_4^{2-}	Molibdênio	MoO_4^-
		Cloro	Cl

Fonte: LUCHESE et al., 2002; Malavolta et al., 2000

O nutriente disponível à planta segundo Malavolta et al. (2000) é o que se encontra na solução do solo, oriundo da fase sólida do solo ou do fertilizante. O equilíbrio entre essas fases depende de diversos fatores do solo, tais como pH, temperatura, umidade, textura, estrutura, quantidade e composição da matéria orgânica.

Os macronutrientes são assim denominados não por serem mais importantes e sim por serem os absorvidos em maior quantidade, pois todos nutrientes têm sua importância e necessidade. A falta de micronutrientes pode comprometer o desenvolvimento dos vegetais. Além destes elementos são essenciais, o carbono, C; o oxigênio, O; e o hidrogênio, H; completando assim a lista de 16 elementos essenciais (MALAVOLTA et al, 2000).

3.14- ADUBAÇÃO MINERAL E ORGÂNICA

ADUBAÇÃO MINERAL

Segundo Vale et al. (1993), existem 3 tipos de materiais disponíveis para aumentar a produção e a produtividade das plantações:

- os fertilizantes (adubos inorgânicos ou minerais), têm a função de alimentar as plantas, através de suas raízes, para as quais eles fornecem elementos nutritivos (nutrientes), sob formas assimiladas com mais facilidade e guardando determinadas proporções entre esses elementos, ou seja, são misturas balanceadas.
- os corretivos são destinados a neutralizar o excesso de acidez do solo, quando e se necessário. Com esse objetivo se usa, calcário calcítico, que contém carbonato de cálcio ou calcário dolomítico, no qual há carbonato de cálcio e de magnésio, dessa

forma se está também, incorporando 2 elementos importantes para as plantas: o cálcio e o magnésio. Portanto, os corretivos são, ao mesmo tempo, corretivos e fertilizantes.

- o condicionador age no solo melhorando suas condições e propriedades físicas, facilitando o desenvolvimento e a assimilação de nutrientes pelas plantas.

ADUBAÇÃO ORGÂNICA

O adubo orgânico exerce as mesmas três funções que o adubo mineral, como fertilizante, como corretivo e como melhorador ou condicionador do solo. É um fertilizante embora de baixa concentração, sendo necessário usá-lo em maiores quantidades, mas contém nitrogênio, cálcio, fósforo, potássio, magnésio e enxofre, além dos micronutrientes boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco. É um corretivo porque corrige a composição do solo, combinando-se com o manganês, o alumínio e o ferro, por exemplo, reduzindo ou neutralizando os efeitos tóxicos desses elementos, quando em excesso, sobre as plantas, e também é um condicionador devido à forma que age no solo, melhorando suas condições e propriedades físicas, facilitando o desenvolvimento e a alimentação das plantas. Portanto, é de se esperar que o adubo orgânico pode, perfeitamente, substituir os adubos minerais, bastando que ele seja empregado em doses mais elevadas, por não possuir altas concentrações desses elementos (MALAVOLTA et al., 2000).

O sistema orgânico procura desenvolver um processo de exploração auto-sustentável da propriedade agrícola. Os adubos orgânicos liberam lentamente os nutrientes

e não favorecem a presença de radicais livres¹ e o ataque de insetos nocivos e patógenos (BIDONE, 1999).

Os sistemas de adubação orgânica, também usam produtos orgânicos compostados e vermicompostados.

A vermicompostagem é a transformação biológica da matéria orgânica na qual se utilizam minhocas para a produção do húmus, que é a matéria orgânica digerida, não absorvida e eliminada como fezes. A composição do húmus varia de acordo com o material utilizado nos canteiros onde vivem e da alimentação suplementar das minhocas. É rico em macro e micronutrientes, além de serem neutros, facilitando a correção de solos ácidos (BIDONE, 1999; VIEIRA, 1994).

Todo material vegetal existente na propriedade agrícola pode ser aproveitado para a produção de compostos de volumosos, misturando esterco com palhadas, capins, restos vegetais, gramas, folhas secas, etc (CONFEA, 2003).

3.15- QUALIDADE DE UM ALIMENTO

Existem poucos critérios válidos e objetivos para que se aprecie a qualidade de um alimento, uma vez que esta é subjetiva. A qualidade de um alimento, quanto a seu efeito sobre o organismo humano, pode ser avaliada de diferentes pontos de vista, segundo Firmino et al. (2001):

- o ponto de vista dos sentidos: denominam-se estas características de organolépticas², têm a ver com o aspecto visual, olfativo, gustativo, tátil e até com

¹ Radicais livres são moléculas instáveis, pelo fato de seus átomos possuírem um número ímpar de elétrons. Para atingir a estabilidade, estas moléculas reagem com o que encontram pela frente para roubar um elétron.

o som do alimento. Além disso, está relacionada com o digestivo pelas sensações experimentadas após a ingestão do alimento.

- o ponto de vista nutritivo: relacionado com os nutrientes que compõem esse alimento e com a energia que ele carrega.
- o ponto de vista higiênico: refere-se à salubridade e inocuidade do alimento, ou seja, à ausência de micróbios (especialmente patógenos), que não esteja alterado ou em mal estado, e que não contenha substâncias que possam ser nocivas ao organismo humano.

Os microrganismos que contaminam os alimentos podem ser fungos, leveduras, bactérias vírus, protozoários e vermes. Um alimento pode ser também contaminado por substâncias químicas. Estas substâncias químicas por sua vez podem ser de origem natural, como as toxinas de fungos venenosos, ou artificiais a exemplo de metais pesados, restos de pesticidas e aditivos proibidos adicionados aos produtos alimentares elaborados (GONÇALVES et al. 2003).

No Brasil é possível desenvolver uma diversidade de culturas como, por exemplo, as frutíferas, forrageiras, oleaginosas, olerícolas entre outras.

3.16- OLERICULTURA

A olericultura é o ramo da horticultura que abrange a exploração de um grande número de espécie de plantas, comumente conhecidas como hortaliças e que engloba culturas folhosas, raízes, bulbos, tubérculos e frutos diversos (CASTELLANE et al., 1999).

² Diz-se das propriedades dos corpos ou substâncias que impressionam os sentidos.

Existe uma vasta relação de plantas olerícolas como, abóbora, agrião, alface, batata, cebola, berinjela, pepino, pimenta, pimentão, quiabo, tomate entre outros.

A importância da adubação não é apenas na quantidade de hortaliças produzidas, mas na qualidade do produto obtido, para que possa alcançar as melhores cotações no mercado. A qualidade das hortaliças não pode ser melhorada apenas com adubação, mas os efeitos dos nutrientes são importantíssimos quanto ao seu melhor desempenho.

3.17- CULTURA DO PIMENTÃO (*Capsicum annuum* L.)

O pimentão é uma das hortaliças mais cultivadas pelos produtores rurais do município de Lagoa Seca – PB, local do experimento.

Originárias das Américas, as plantas do gênero *Capsicum*, são cultivadas em regiões tropicais e temperadas. Rico em vitamina C, betacaroteno, ácido fólico, cálcio, cloro, magnésio, fósforo, potássio e sódio, o pimentão reforça as defesas naturais do organismo contra as doenças infecciosas, ajuda à digestão e a formação de enzimas, sendo um ótimo antioxidante. Embora muito nutritivo, ele produz pouquíssimas calorias e por isso é recomendado em dietas de emagrecimento (REIFSCHNEIDER, 2000).

O pimentão possui inúmeros elementos químicos que podem ser encontrados nos adubos e nos efluentes de esgotos tratados como, cálcio, fósforo, ferro, sódio, potássio, entre outros.

A produtividade do pimentão pode variar dependendo de fatores como condições nutritivas do solo e da água que o irriga, radiação solar, clima, espécie da cultura, entre outros (SASAKI & SENO, 1994; MALAVOLTA et al., 2000). Para o consumo “in natura”,

o mercado nacional tem preferência por frutos de formato cônico, geralmente graúdo, de coloração verde-escura ou verde intensa (REIFSCHNEIDER, 2000).

O pimentão é uma hortaliça muito produzida pelos trabalhadores rurais do município de Lagoa Seca - PB através dos agricultores da agricultura familiar e sua comercialização mantém o sustento das famílias.

4 – MATERIAL E MÉTODOS

4.1 – LOCALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO

A pesquisa envolveu um experimento piloto conduzido em terreno de 2000 m² localizado no Sítio Pau D' Arco, situado entre as coordenadas geográficas de 07° 09' 06" de latitude sul e 35° 50' 59" de longitude oeste, no município de Lagoa Seca, distante 8 Km da cidade de Campina Grande-PB (Figura 2). O clima da região é temperado, temperatura máxima de 28°C e mínima de 20°C. Esta região pertence à microrregião do Agreste da Borborema e possui uma geografia física caracterizada de rochas magmáticas com predominância de solos Bruno Litólicos, com afloração do cristalino pré-cambriano.

O experimento foi realizado em parceria com o Sindicato dos Trabalhadores Rurais do município de Lagoa Seca.

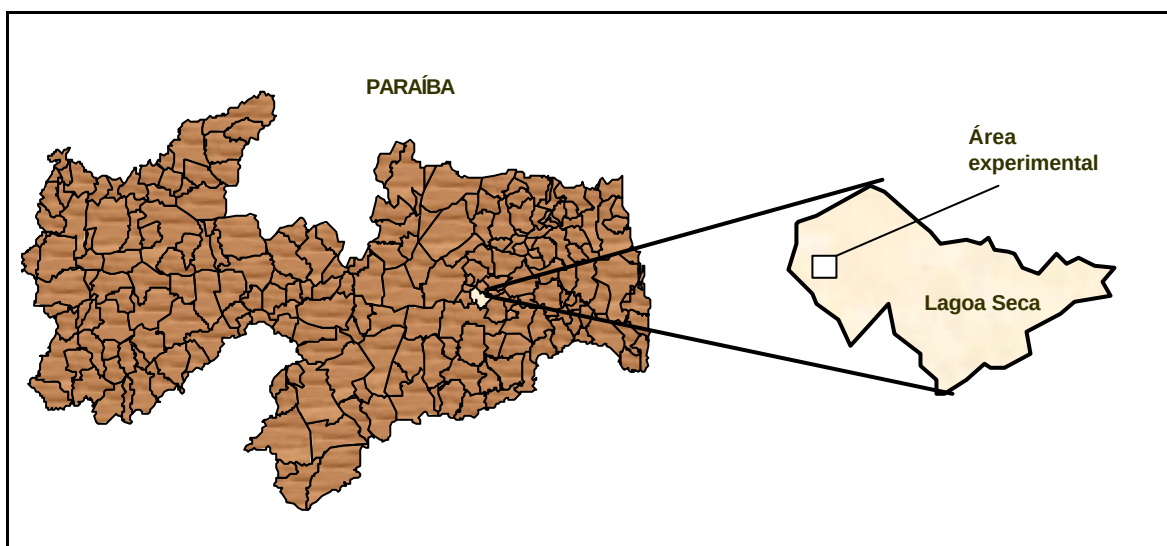


FIGURA 2. Localização espacial da área experimental de tratamento e reúso de esgoto tratado

4.2 – DESCRIÇÃO DA UNIDADE EXPERIMENTAL DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Os esgotos domésticos que escoam a leste da cidade de Lagoa Seca passam cerca de 100 metros da propriedade onde estava localizado o experimento, e era captado para seu tratamento. Foi construído um ponto de captação, conforme a Figura 5 que transportava o esgoto para ser tratado. O tratamento do esgoto se deu em três etapas: (1) tratamento primário que consistia de uma caixa de areia, seguida de um tanque de equalização com volume de 1800L, o qual recebia continuamente os esgotos, e parte dele era bombeado para o reator UASB (Figura 3) através de uma bomba de pulso com um volume de 230L ao dia. (2) no tratamento secundário era efetuada a remoção (por biodegradação) da matéria orgânica e remoção de sólidos suspensos, enquanto que na ultima etapa aplicou-se um pós-tratamento por meio de duas lagoas de polimento em série (Figura 4), com a finalidade de remover microrganismos.



FIGURA 3. Reator UASB



FIGURA 4. Sistema de Lagoas de Polimento em série

Nas Figuras 5 e 6 estão representadas de forma esquemática a configuração do sistemas de tratamento e suas dimensões.

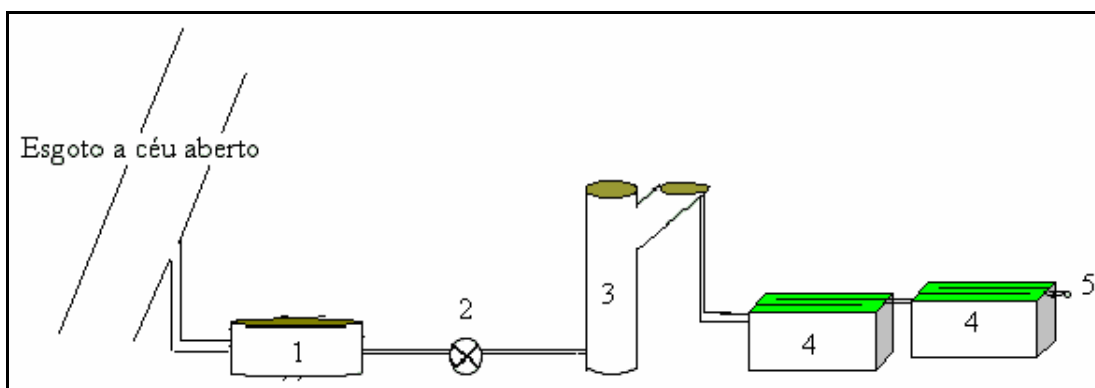


FIGURA 5. Esquema do Sistema de Tratamento de Lagoa Seca

Onde: (1) Tanque de equalização (2) Bomba dosadora (3) Re ator UASB (4) Lagoas de Polimento (5) Efluente Final

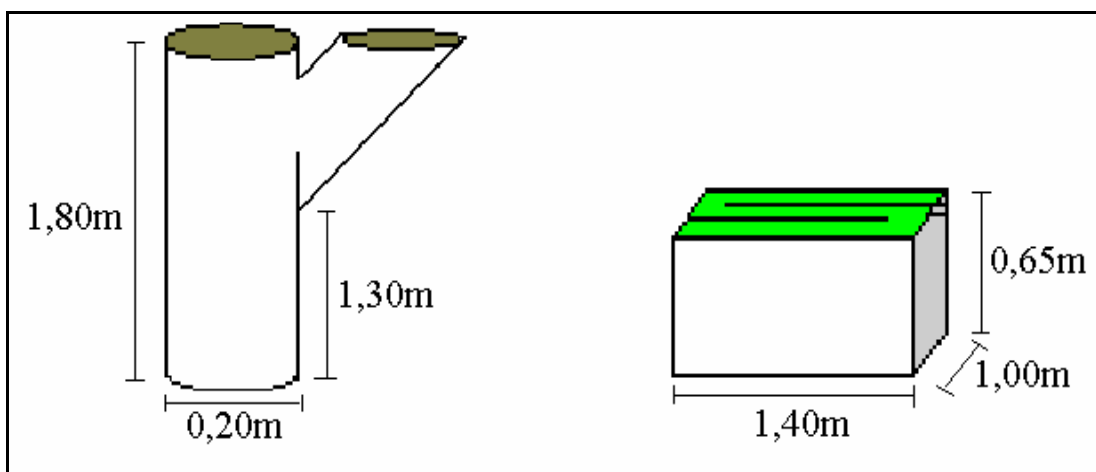


FIGURA 6. Dimensionamento dos sistemas UASB e Lagoa de Polimento

Verifica-se, na Tabela 5 as características físicas e operacionais do sistema de tratamento de esgotos utilizado no experimento.

TABELA 5. Características físicas e operacionais do sistema experimental

Unidade	Dimensões		TDH (dia)*	Vazão (m ³ /dia)
	Profundidade(m)	Volume (m ³)		
UASB	1,80	0,080	0,347	0,230
LP1	0,60	0,920	8,00	0,115
LP2	0,60	0,920	8,00	0,115

* TDH: Tempo de Detenção Hidráulica

4.3 – SISTEMA DE CULTIVO E MANEJO

O experimento de campo obedeceu a um delineamento experimental em blocos casualizados com cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 parcelas (Figura 7). A área total destinada ao cultivo do pimentão foi de 1200m², na qual foram configuradas 20 parcelas. Cada parcela teve dimensões de 1,0m de largura e 1,5m de comprimento, sendo a estas caracterizadas os tipos de tratamento experimentais. Os tratamentos utilizados foram,

tratamento T1 - irrigação com água de poço e solo sem adubação, tratamento T2 – irrigação com água de poço e solo com adubação mineral completa, tratamento T3 – irrigação com água de poço e solo com adubação orgânica, tratamento T4 – irrigação com efluente da lagoa de polimento e solo sem adubação e tratamento T5 – irrigação com efluente do reator UASB e solo sem adubação.

O transplante do pimentão foi realizado em linha tripla no espaçamento de 30cm entre plantas e 25cm entre linhas, apresentando um total de 12 covas por parcela. Cada cova após o desbaste apresentou 1 planta, sendo assim, a densidade de pimentão em cada parcela foi de 12 plantas. Na Figura 8 está representada a configuração adotada em cada parcela.

Conforme dados advindos da análise de solo, a quantidade de água necessária até a profundidade de 0,20 m para a cultura do pimentão foi calculada em 600mm de água por ciclo. Como a aplicação da água deve ocorrer sempre que a umidade disponível decresce a 50%, a irrigação foi aplicada com um turno de irrigação de 2 dias, neste caso, 10 L.m². A irrigação foi manual.

	Bloco I	Bloco II	Bloco III	Bloco IV
Tratamentos	T2	T4	T3	T4
	T5	T1	T5	T1
	T4	T3	T4	T5
	T1	T2	T1	T2
	T3	T5	T2	T3

FIGURA 7. Esquema das Parcelas Experimentais e Distribuição dos Tratamentos

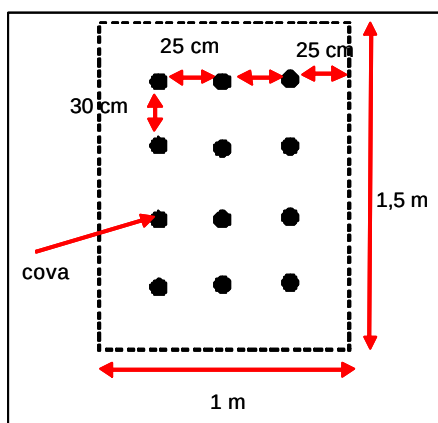


FIGURA 8. Configuração adotada em cada parcela

Estão apresentados nas figuras 9, 10 e 11 a área de cultivo e parcelas utilizadas durante o período experimental



FIGURA 9. Área experimental de cultivo de pimentão (após transplântio)



FIGURA 10. Área experimental de cultivo de pimentão (30 dias após transplântio)



FIGURA 11. Parcela experimental de cultivo do pimentão (30 dias após transplântio)

4.4 – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DOS AFLUENTE E EFLUENTES

Análises semanais foram realizadas no esgoto sanitário afluente e nos efluentes dos reatores, obedecendo às normas do Standard Methods for the Examination of Wastewater (APHA, 1995). Na Tabela 6 constam às análises físicas e químicas realizadas e seus respectivos métodos e equipamentos.

TABELA 6. Métodos utilizados nas análises físicas e químicas

Análise	Método	Equipamentos
Nitrogênio amoniacal	Método semi-micro Kjeldhal	Destilador marca Tecnal modelo TE-036/1
Nitrogênio total	Método semi-micro Kjeldhal com digestão.	Destilador marca Tecnal modelo TE-036/1, digestor marca Tecnal modelo TE-007
Fósforo Total	Espectrofotométrico com ácido ascórbico e digestão em persulfato	Espectrofotometro marca Milton Roy modelo LR-45227, autoclave marca Phoenix modelo AV18
Ortofosfato solúvel	Espectrofotométrico com ácido ascórbico.	Espectrofotometro marca Milton Roy modelo LR-45227
Potássio	Fotométrico	Fotômetro marca Cole Parmer modelo M-2655-00
Demanda Química de Oxigênio	Titulometria de oxido-redução com dicromato.	Digestor marca Jundilab modelo PN 456
Sólidos Suspensos	Gravimétrico	Banho Maria marca Quimis, Estufa Fanen modelo 62700, Balança analítica Sartorius
Sólidos Suspensos Voláteis	Gravimétrico	Mufla marca Furnace modelo 62700, Balança analítica Sartorius.
Condutividade elétrica	Método instrumental (leitura direta).	Condutivímetro marca Yellow Spring modelo M-33
Alcalinidade Total	Método KAPP(1)	pHmetro marca Orion modelo 230A
pH	Potenciométrico	pHmetro marca Orion modelo 230A

(1)KAPP, (1984 apud KBUCHAUER 1998).

4.5 – ANÁLISES FÍSICAS E QUÍMICAS DO SOLO ANTES DO PLANTIO

O solo do experimento apresentou predominância do tipo Podizólico Vermelho Amarelo Eutrófico conforme classificação da SUDENE (Superintendência de

Desenvolvimento do Nordeste) de 1972. Análises físico-químicas da fertilidade do solo foram realizadas antes e após o cultivo do pimentão pelo Laboratório de Química e Fertilidade do Solo da UFPB, campus III, e pelo Laboratório de Irrigação e Salinidade da UFCG, campus I.

As amostras de solo anteriores ao cultivo foram preparadas através da mistura de frações de solo coletadas de todas as parcelas. Foram obtidas posteriormente ao cultivo, amostras individuais de cada tratamento, a partir da coleta de frações de solo de todas as parcelas de um mesmo tratamento. A coleta de solo foi realizada retirando nove amostras simples (três de cada extremidade e uma do meio) de solo de cada parcela, coletadas dos primeiros 20 cm de profundidade. Com elas foram feitas amostras compostas, totalizando 20 amostras, equivalentes às vinte parcelas, que foram submetidas a análises para determinação de pH, matéria orgânica, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, alumínio, hidrogênio + alumínio, soma das bases trocáveis, boro, cobre, ferro manganês e zinco.

4.6 – ANÁLISES MICROBIOLÓGICAS E PARASITOLÓGICAS DOS AFLUENTE E EFLUENTES

Para a avaliar a qualidade sanitária dos efluentes utilizados nas práticas de fertirrigação e as eficiências dos sistemas de tratamento adotados na remoção de organismos, foram realizadas análises semanais de coliformes termotolerantes e análises quinzenais de ovos de helmintos. Na Tabela 7 estão apresentados os métodos e suas respectivas referências quanto às análises microbiológicas e parasitológicas.

TABELA 7. Métodos para as análises de ovos de helmintos (Bailenger 1989, modificada) e coliformes termotolerantes (APHA, 1995)

Parâmetro	Método	Referência
Coliformes termotolerantes	Membrana Filtrante	APHA (1995)
Ovos de Helmintos	Bailenger modificado	Ayres; Mara (1989)

4.7 – PREPARO E ADUBAÇÃO DO SOLO (mineral e orgânico)

4.7.1 – ADUBAÇÃO DO SOLO

Antes da adubação do solo foi feita a avaliação da fertilidade do solo, pela técnica do diagnóstico por subtração, segundo MALAVOLTA, et al (1965), também chamada de técnica do elemento faltante, baseada na lei do mínimo³.

4.7.2 – ADUBAÇÃO MINERAL

Para a adubação mineral seguiu-se recomendação de Malavolta (1965). Após a análise das concentrações dos nutrientes presentes no solo, foi possível através da Equação 4, determinar a quantidade a ser adicionada de nutrientes para alcançar as concentrações recomendadas por Malavolta (1965), considerando uma profundidade de 0,2m (Tabela 8).

³ Deve-se a Liebig (1840) o enunciado da “Lei do Mínimo”: o crescimento dos vegetais é limitado pelo elemento cuja concentração é inferior ao valor mínimo, abaixo do qual as sínteses não podem mais fazer-se.

$$QN = (CR - CS) \times Ap \times p \quad (4)$$

Onde:

QN: Quantidade do nutriente a ser aplicado em uma parcela (g)

CR: Concentração do nutriente recomendada (mg.dm⁻³)

CS: Concentração do nutriente no solo (mg.dm⁻³)

Ap: Área da parcela (m²)

p: Profundidade (m)

TABELA 8. Teor de nutrientes existentes e quantidade adicionada ao solo do tratamento 2.

Nutriente (mg.dm ⁻³)	Quantidade de nutriente recomendada por Malavolta(1965) (mg.dm ⁻³)	Quantidade de nutriente existente no solo (mg.dm ⁻³)	Quantidade adicionada (mg.dm ⁻³)
Nitrogênio	200	200	-
Fósforo	200	125	75
Potássio	200	132,6	67,4
Cálcio	50	840	-
Magnésio	25	279,4	-
Enxofre	50	14	36
Boro	1	0,65	0,35
Cobre	2	0,3	1,7
Ferro	5	53	-
Manganês	2	3,1	-
Zinco	5	2,0	-

Observação: (-) não houve aplicação do nutriente, ao solo pois já existia em quantidade suficiente.

4.7.3 – ADUBAÇÃO ORGÂNICA

Para a adubação no tratamento 3, foi utilizado vermicomposto previamente preparado. A análise do material orgânico a ser vermicompostado foi realizada na Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ). A adubação orgânica foi de 50 toneladas de matéria seca por hectare. As características do vermicomposto utilizado no experimento estão apresentadas na Tabela 9.

TABELA 9. Características dos constituintes do vermicomposto utilizado no solo do tratamento 3 (T3)

Parâmetro	Concentração em umidade natural	Concentração em base seca
pH	7,1	-
Densidade (g cm ³)	0,88	-
Umidade perdida a 60-65°C (%)	5,47	-
Umidade perdida entre 65°C e 110°C (%)	2,28	-
Umidade total	7,75	0,0
Inertes	0,0	-
Matéria orgânica total (combustão) (%)	21,57	23,38
Matéria orgânica compóstavel (%)	15,80	17,13
Matéria orgânica resistente a compostagem (%)	5,77	6,25
Carbono total (orgânico e mineral) (%)	11,98	12,99
Carbono orgânico (%)	8,78	9,852
Resíduo mineral total (%)	70,68	76,62
Resíduo mineral insolúvel (%)	61,53	66,70
Resíduo mineral solúvel (%)	9,15	9,92
Nitrogênio total (%)	0,99	1,07
Fósforo total (%)	1,67	1,81
Potássio total (%)	0,40	0,43
Cálcio total (%)	2,11	2,29
Magnésio total (%)	0,56	0,61
Enxofre total (%)	0,12	0,13
Relação C/N (C total e N total)	12/1	12/1
Relação C/N (C orgânico e N total)	9/1	9/1
Cobre total (mg kg ⁻¹)	19	21
Manganês total (mg kg ⁻¹)	342	371
Zinco total (mg kg ⁻¹)	80	80
Ferro total (mg kg ⁻¹)	6938	7521
Boro (mg kg ⁻¹)	25	27
Sódio total (mg kg ⁻¹)	543	543

4.8 – ANÁLISE DO CRESCIMENTO DA CULTURA

Para avaliar o desenvolvimento e o crescimento da cultura, as plantas foram caracterizadas semanalmente, pela determinação de área foliar, diâmetro do caule e altura

da planta de pimentão. Para fins de cálculo (Benincasa, 1986), a determinação da área foliar (AF) se deu através do uso de fatores de correção: a partir dos dados obtidos calcula-se a área foliar com o produto do comprimento pela largura de cada folha medida. Se não houver diferença significativa entre essas razões, determinou-se o valor médio das razões que seria utilizada como fator de correção (F), isto a partir dos dados de comprimento (C) e largura (L) da folha (Equação 5).

$$F = \frac{AF}{C \times L} \quad (5)$$

4.9 – ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados obtidos nas análises da qualidade dos efluentes, do crescimento e da produtividade do pimentão, receberam diversos tratamentos estatísticos. A estatística descritiva foi aplicada de forma a proporcionar medidas de tendência central e medidas de dispersão. A análise de regressão foi realizada utilizando-se o software Table Curve™ 2D v.5.0 desenvolvido pela AISN. As curvas de regressão obtidas representaram modelos dos comportamentos de crescimento durante o ciclo do pimentão.

As análises de variância, covariância e testes de significância foram aplicados de acordo com o delineamento experimental de blocos casualizados. Os testes de significância utilizados objetivaram avaliar a hipótese de que os tratamentos aplicados no desenvolvimento do pimentão apresentaram ou não diferença significativa. O teste de significância foi o Teste Tukey, determinado com o auxílio do software ESTAT 2.0, desenvolvido pelo departamento de ciências exatas da UNESP, campus Jaboticabal.

5- APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

5.1- CARACTERÍSTICAS DO ESGOTO E DAS ÁGUAS DE IRRIGAÇÃO

A Tabela 10 apresenta as principais características dos efluentes tratados e utilizados na irrigação da cultura do pimentão, apresentando suas respectivas médias e desvio padrão.

TABELA 10. Valores médios ($\bar{x}$), desvio padrão(δ) de vinte e cinco determinações de esgotos brutos e tratados (temperatura de 25 a 30 ° C) para reúso na agricultura

Parâmetro	Esgoto bruto		UASB		Lagoa de polimento		Água de poço	
	$\bar{x}$	d	$\bar{x}$	d	$\bar{x}$	d	$\bar{x}$	d
pH*	6,92 - 8,10		7,41 - 8,35		8,28 - 10,24		6,37 - 7,95	
Condutividade elétrica (CE) (dS m ⁻¹)	1,59 ± 0,3		1,43 ± 0,2		1,6 ± 0,1		0,98 ± 0,08	
DQO (mg L ⁻¹)	398 ± 198		165 ± 81		261 ± 154		74 ± 45	
N-amoniaco (mg N-NH ₄ L ⁻¹)	46,3 ± 17		34,6 ± 9,8		3,5 ± 2		0,48 ± 0,16	
NTK (mg NTK L ⁻¹)	63,7 ± 20,4		49,3 ± 13,1		14,7 ± 6,1		1,71 ± 0,7	
Orto-P (mg P-PO ₄ ²⁻ L ⁻¹)	4,7 ± 1,5		4,2 ± 1,5		3,3 ± 2,3		0,08 ± 0,07	
Fósforo Total (mg P L ⁻¹)	7,1 ± 2,06		6,3 ± 1,5		4,7 ± 2,8		0,13 ± 0,1	
Potássio (mg K L ⁻¹)	40,3 ± 10,7		39,7 ± 8,3		43,8 ± 8,1		9,15 ± 1,7	
SST (mg L ⁻¹)	128,7 ± 57,7		48,3 ± 15,6		100,9 ± 47,1		31,4 ± 29,0	
Cálcio (mg L ⁻¹)	42 ± 7,8		43 ± 6,1		44 ± 8,1		24 ± 9,1	
Magnésio (mg L ⁻¹)	15 ± 4,0		20 ± 5,1		19 ± 5,4		19 ± 6,0	
Sulfato (mg L ⁻¹)	31 ± 12		1,4 ± 0,2		42 ± 10		1,7 ± 0,20	
Cloreto (mg L ⁻¹)	171 ± 21		190 ± 18		218 ± 19		169 ± 29	
Sódio (mg L ⁻¹)	152 ± 24		130 ± 21		144 ± 18		120 ± 35	
Coliformes termotolerantes (CTerm) (UFC 100mL ⁻¹)	8,50 x 10 ⁶		4,0 x 10 ⁵		2,0 x 10 ²		1x10 ²	
Ovos de helmintos (ovos L ⁻¹)	150 ± 90		50 ± 15		nd		nd	

*Dados referentes ao pH estão representados por variação.

Os resultados individuais das análises físicas, químicas, microbiológicas e parasitológicas dos efluentes estudados estão detalhados e organizados em anexo.

Observa-se na Tabela 10 que o reator UASB apresentou eficiência de remoção de DQO de 63%, abaixo do esperado que em geral varia de 70-80% (ALÉM SOBRINHO E KATO, 1999).

Não ocorreu remoção significativa de nutrientes como nitrogênio, fósforo e potássio no reator, visto que este sistema não apresenta mecanismo de remoção de nutrientes. Na lagoa de polimento a remoção de nitrogênio era prevista, visto que com o consumo de CO_2 pela atividade fotossintética, reduziria a acidez e o pH da lagoa aumentaria, favorecendo a formação da amônia livre (na forma volátil). Essa elevada variação de pH (8,28-10,24) é um obstáculo para diversas culturas. Considera-se adequado para água de irrigação um pH entre 6,5 e 8,4, dependendo da cultura, fora dessa faixa, favorece o desequilíbrio nutricional das culturas irrigadas (AYERS & WESTCOT, 1991).

A predominância no efluente do reator UASB de nitrogênio e fósforo na forma amoniacal e de ortofosfato, respectivamente, em relação às formas orgânicas, proporcionam as culturas maior facilidade de absorção desses nutrientes pelas plantas.

Verifica-se ainda nos dados da Tabela 10 alta concentração de cloreto (169 mg. L^{-1}) e sódio (120 mg.L^{-1}) na água de poço, favorecendo uma elevada concentração de sais, expresso pela condutividade elétrica (CE) chegando em média a $0,98 \text{ dS.m}^{-1}$, tornando-se mais elevada nos efluentes do reator UASB ($1,43 \text{ dS.m}^{-1}$) e lagoa de polimento ($1,6 \text{ dS.m}^{-1}$), esta constatação deixa claro que a fertirrigação com efluentes de esgoto doméstico pode trazer efeitos deletérios para o desenvolvimento de culturas, em virtude do aumento dos sais, caso não se tenha um manejo adequado de irrigação e drenagem.

Com relação à concentração de coliformes termotolerantes e ovos de helmintos, o efluente da lagoa de polimento obedece às exigências da WHO (1989). Apresenta uma quantidade abundante de algas mantendo, considerável concentração de sólidos suspensos (100 mg L^{-1}), o qual não é problema, pois é nutriente de liberação. Efluentes com tal característica podem obstruir os sistemas de irrigação, mas, sendo esses efluentes utilizados em sistemas de irrigação por sulco, as algas, como matéria orgânica lentamente se decompõe e humifica o solo, contribuindo com nutrientes, sobretudo nitrogênio e fósforo.

O pós-tratamento do efluente do reator UASB em lagoa de polimento foi realizado com o propósito de produzir um efluente final livre de ovos de helmintos e com concentrações de coliformes termotolerantes aceitáveis pela OMS. De acordo com Shuval, (1986) apud Bastos et al., (2003) grandes são os riscos de transmissão de doenças como ascaridíase e tricuriíase, aos agricultores que utilizam esgotos não devidamente tratados.

Conforme estimativa proposta por Ayres et al. (1992) lagoas com TDH de 7 dias apresentam eficiência de remoção de ovos de helmintos de 99%, no entanto, o sistema de lagoa de polimento em série apresentou um TDH de 16 dias, chegando a apresentar ausência de ovos de helmintos e baixa concentração de coliformes termotolerantes ($2,00 \times 10^2 \text{ UFC.100mL}^{-1}$).

É importante que os produtos irrigados com águas tratadas não apresentem risco de contaminação por patógenos. Exportações de produto fresco contaminado de regiões geográficas diferentes podem facilitar a expansão de patógenos conhecidos e alterações com novas características de virulência em áreas onde os patógenos normalmente não são achados ou estiveram por muitos anos ausente (BEUCHAT, 1998).

Mundialmente, está calculado que 18% de terra para plantação temporária é irrigada, produzindo 40% de toda a comida (GLEICK, 2000). Uma porção significativa de

água de irrigação é água residuária. Hussain et al. (2001) calcularam que pelo menos 20 milhões de hectares em 50 países são irrigados com água residuária tratada parcialmente ou bruta. Smit e Nasr (1992) calcularam que um décimo ou mais da população mundial consome alimentos produzidos por irrigação com água residuária. Água residuária e dejetos também são usados em agricultura urbana, que freqüentemente provê uma grande quantidade dos legumes frescos vendidos em muitas cidades, particularmente em países menos desenvolvidos. Por exemplo, em Dakar, Senegal, mais que 60% dos legumes consumidos na cidade são crescidos em áreas urbanas que usam uma mistura de água subterrânea e água residuária não tratada (FARUQUI et al., 2002).

Água residuária é freqüentemente um recurso para as comunidades pobres e pode ter impactos significantes na segurança do alimento. Melhorar a nutrição, especialmente para crianças, é muito importante para manter a saúde global de indivíduos e comunidades. Melhorando os padrões de vida das comunidades pobres através do desenvolvimento de irrigação (com água residuária ou água fresca) podendo conduzir a uma melhor saúde (VAN DER HOEK et al., 2001).

5.2- PRESENÇA DE COLIFORMES TERMOTOLERANTES NO SOLO E NO FRUTO

Organismos patogênicos presentes nos esgotos não penetram no tecido vegetal, a não ser que a planta esteja danificada, embora não sobrevivam, mas alguns patógenos podem ser encontrados na superfície das plantas fertirrigadas com esgotos tratados. De modo geral, sua sobrevivência depende de fatores como luz solar, temperatura e umidade

relativa do ar, entre outros. Neste caso, os microrganismos presentes na superfície das culturas estão expostos às condições ambientais desfavoráveis.

Os dados apresentados na Tabela 11 demonstram que a concentração de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* é maior no solo, após a colheita, que nos frutos. A sobrevivência de bactérias entéricas no solo depende também da atividade autogênica de actinomicetos e fungos, os quais produzem antibióticos que as eliminam; por outro lado, a sobrevivência dessas bactérias pode ser prolongada em solos com nutrientes disponíveis (PAGANINI, 2003).

TABELA 11. Concentrações de coliformes quantificados no solo e fruto do pimentão

Tratamentos	Coliformes Termotolerantes (NMP g ⁻¹)		<i>Escherichia Coli</i> (NMP g ⁻¹)	
	solo	fruto	solo	fruto
T1	4,7x10 ⁴	4,6x10 ²	1,0x10 ²	< 2,2
T2	4,6x10 ⁴	1,6x10 ²	1,0x10 ²	< 2,2
T3	1,1x10 ⁵	1,1x10 ²	5,0x10 ⁴	4,0
T4	2,9x10 ³	1,0x10 ¹	4,6x10 ²	3,0
T5	1,0x10 ⁶	2,4x10 ³	2,7x10 ³	10

NMP g⁻¹ = Número mais provável por grama

Diversos pesquisadores, estudando o período de sobrevivência de microrganismos em hortaliças, constataram que *E. coli* e *Salmonella* spp sobrevivem até dez dias, após a última irrigação (SHUVAL et al., 1997; PAGANINI, 2003).

As análises microbiológicas evidenciaram que coliformes termotolerantes e *E. coli* presentes no efluente e no solo, contaminaram os frutos do pimentão irrigado, mas em níveis aceitáveis para a venda ao consumidor final. Os métodos de irrigação contribuem, sobremaneira, para a contaminação dos produtos. Aconselha-se, neste caso, a irrigação subsuperficial e localizada, uma vez que este sistema é o de menor risco de contaminação.

A Legislação Brasileira para Padrões Microbiológicos de Hortaliças (ANVISA, 2001), estabelece um número mínimo de cinco “unidades amostrais”, das quais duas podem apresentar densidade de coliformes termotolerantes até o valor máximo de 10^2 org g⁻¹, em qualquer unidade do lote (ANVISA, 2001). Portanto, do ponto de vista do indicador de contaminação fecal o pimentão produzido no experimento, conforme os dados da Tabela 11, apresentam qualidade sanitária aceitável para serem consumidos apenas os frutos produzidos no tratamento T4, de irrigação com efluentes da lagoa de polimento. As normas para irrigação irrestrita sugeridas pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 1989) recomendam para ovos de helmintos <1 ovo/L, mas não fazem referência a cistos de protozoários e vírus, ou seja, ainda há indicadores que faltam para estes grupos e nada ou pouco se sabe sobre a contaminação por esses grupos de microrganismos.

Blumenthal et al. (2000a) propõem revisões para as diretrizes microbiológicas da OMS para o uso de água residuária tratada na agricultura (Tabela 12). As diferenças principais das diretrizes da OMS de 1989 são recomendações novas para um valor de coliforme termotolerante (CTerm) para irrigação restrita ($=10^5$ UFC/100ml) e novos limites de ovo de nematóide e coliforme termotolerante em certas condições quando as crianças estão expostas.

TABELA 12. Diretrizes microbiológicas revisadas indicadas para o uso de água residuária tratada na agricultura*^a

Categoria de condições de reúso		Grupo exposto	Técnica de irrigação	Nematóides intestinal ^b (nenhuma estatística aritmética de ovos por litro ^c)	Coliformes termotolerantes (nenhuma estatística geométrica por litro ^d)	Tratamento de água residuária esperado para alcançar a qualidade microbiológica exigida
A	Irrigação irrestrita A1- colheita de legume e salada comida crua, campos de esportes, parques públicos ^e	Trabalhadores, consumidores, público	qualquer	= 0.1 [= 1] ^f	= 10 ³	Série bem projetada de tratamento em lagoas de estabilização ou tratamento equivalente (por exemplo, tratamento secundário convencional ou lagoas de polimento ou filtração e desinfecção)
B	Irrigação restrita Colheita de cereal, colheitas de forragem, pasto e árvores ^g	B1- trabalhadores (mas sem crianças < 15 anos), comunidades próximas	(a) aspersão	= 1	= 10 ⁵ [nenhum padrão]	Retenção em série de lagoa de estabilização com uma lagoa de maturação ou tratamento equivalente (por exemplo, tratamento secundário convencional ou lagoas de polimento ou filtração)
		B2 como B1	(b) sulco/ inundação	= 1	=10 ³ [nenhum padrão]	Como para Categoria A.
		B3 trabalhadores incluindo crianças < 15 anos), comunidades próximas	qualquer	= 0.1 [= 1]	=10 ³ [nenhum padrão]	Como para Categoria A.
C	Irrigação localizada de colheitas em categoria B se a exposição de trabalhadores e o público não acontece	nenhum	gotejamento	não aplicável	não aplicável	Pré-tratamento como requerido pela tecnologia de irrigação, mas não menos que sedimentação primária.

Fontes: Adaptado de Blumenthal et al. (2000a); OMS (1989)

* Valores em colchetes são os valores da diretriz de 1989.

a Em casos específicos, de veriam ser levados em conta fatores epidemiológicos locais, socioculturais e ambientais e as diretrizes modificadas adequadamente.

b Espécies de *Ascaris* e *Trichuris* e ancilostomíase; também é pretendido que a diretriz proteja contra riscos de protozoários parasitários.

c Durante a estação de irrigação (se a água residuária é tratada em sistemas que tenham sido projetados para alcançar estes números de ovos, então a monitoração rotineira da qualidade de efluente não é requerida).

d Durante a estação de irrigação (deveriam ser feitas contas de coliforme fecal preferivelmente semanalmente, mas pelo menos mensalmente).

e Uma diretriz mais estrita (= 200 coliformes fecal por 100 ml) é apropriado para gramados públicos, como gramados de hotel, com o qual o público pode entrar em contato direto.

f Esta diretriz pode ser aumentada a =1 ovo por litro se (i) condições estão quentes e secas e a irrigação de superfície não é usada, ou (ii) se o tratamento de água residuária é completado com campanhas de quimioterapia vermífuga em áreas de re-uso de água residuária.

g No caso de fruteiras, a irrigação deveria cessar em duas semanas antes da fruta ser escolhida e nenhuma fruta deveria ser escolhida do chão. Spray/irrigação por aspersão não deveria ser usada.

É importante notar que exigências de qualidade para o reúso na irrigação irrestrita são mais rígidas às exigências de qualidade de água superficial para irrigação irrestrita. Água de superfície em muitos lugares não atenderia os objetivos da diretriz de coliformes termotolerantes da OMS para irrigação irrestrita (UNEP, 1991) (embora não esteja sempre claro qual o nível de risco que isto requer). Assim em alguns casos, padrões rígidos de qualidade de água residuária para irrigação possa paradoxalmente encorajar o uso de mais água contaminada para irrigação resultando maiores riscos à saúde. Por exemplo, em áreas irrigadas perto de Santiago, Chile, 60% da água do rio usada para irrigação continha mais de 10^4 coliformes termotolerantes por 100 mL (dez vezes o padrão indicado da OMS) (FAO, 1993).

Do ponto de vista epidemiológico, Shuval et al. (1997) fizeram uma avaliação de risco para uma população de Israel, que consumia 100g de pepino por dia, oriundos de culturas irrigadas com efluentes tratados, contendo coliformes termotolerantes de 1000 UFC/100mL, em conformidade com a WHO (1989), e constataram que o risco anual de contrair uma doença pela maioria dos vírus é aproximadamente de 10^{-6} a 10^{-7} , enquanto as infecções por rotavírus tinham risco da ordem de 10^{-5} a 10^{-6} . Neste contexto, e se considerando o modelo de Shuval et al. (1997), tem-se que o pimentão produzido no experimento apresenta nível muito baixo de risco para a disseminação de doenças.

As concentrações médias e as medianas de ovos de helmintos identificadas no esgoto bruto, efluente do reator UASB e da lagoa de polimento são apresentados na Tabela 13. No esgoto bruto a concentração média de helmintos foi de 44 ovos.L⁻¹, enquanto que na lagoa de polimento e água de poço estes ovos estiveram ausentes. Era previsto que o esgoto bruto apresentasse concentrações elevadas de helmintos. O esgoto bruto de Campina Grande tem, em média, 497 ovos.L⁻¹ (FLORENTINO, 1993). Assim, os valores

encontrados no esgoto bruto de Lagoa Seca, encontram-se bem inferiores a aqueles detectados em Campina Grande. A explicação para este resultado pode estar na existência de um “barramento”, improvisado pelos agricultores, para a utilização do esgoto na irrigação de hortaliças, principalmente a alface, localizado a montante da propriedade onde se realizou o experimento. Esse barramento favoreceu a sedimentação dos ovos.

Para comprovar que os ovos de helmintos ficavam retidos nesse “barramento”, coletou-se amostra do esgoto in situ, após a análise parasitológica detectou-se a presença de 230 ovos de helmintos.L⁻¹, evidenciando um decréscimo na concentração real da concentração de ovos do esgoto bruto.

Durante a pesquisa, foram apenas quantificados os ovos de helmintos encontrados, não sendo especificados os gêneros, mas pode-se afirmar que, nas 10 amostras de efluentes analisadas houve a predominância de ovos de *Ascaris* sp, seguido de *Fasciola hepática*, que se constitui em uma zoonose, por estar presente em ovinos, caprinos, bovinos e outros mamíferos. A transmissão para o homem processa-se através da ingestão de água e verduras contaminadas com formas larvárias (NEVES, 2003).

TABELA 13. Valores médios e medianas de ovos de helmintos (ovos.L⁻¹), quantificados pelo método de Bailenger (WHO, 1989) modificado, para os efluentes utilizados na fertirrigação

Determinações	EB	UASB	LP	AP
1	100	nd	nd	nd
2	200	50	nd	nd
3	nd	nd	nd	nd
4	75	nd	nd	nd
5	15	3,33	nd	nd
6	nd	nd	nd	nd
7	28,5	nd	nd	nd
8	10	nd	nd	nd
9	nd	nd	nd	nd
10	10,5	nd	nd	nd
Média	43,90	5,33	-	-
Mediana	12,75	-	-	-

EB - Esgoto Bruto; UASB – Reator Anaeróbio; LP - Lagoa de Polimento; AP - Água de Poço; nd - não detectado.

No contexto do uso de água residuária municipal ou doméstica na agricultura, a remoção ou inativação de patógenos excretados é o objetivo principal de tratamento de água residuária. Opções de tratamento de água residuária convencionais (tratamentos primários e secundários), são freqüentemente melhores na remoção de poluentes ambientais (por exemplo, DBO) que patógenos. Muitos destes processos podem ser caros e difíceis de operar corretamente em situações de país em desenvolvimento devido ao seu alto custo com energia, mão-de-obra qualificada, infra-estrutura e exigências de manutenção (CARR & STRAUSS, 2001). Em alguns casos, o tratamento terciário (por exemplo, filtração e/ou desinfecção) será exigido para reduzir as concentrações de patógenos nos efluentes a valores da diretriz recomendada pela OMS.

Quanto à exposição humana

Quatro grupos de pessoas podem ser identificados como estando em risco potencial do uso agrícola de água residuária, são eles: os trabalhadores dos campos agrícolas e suas famílias; manipuladores de colheita; consumidores (de colheitas, carne e leite), e aqueles que vivem perto dos campos afetados (CARR et al., 2004).

5.3- CONCENTRAÇÕES DE MATÉRIA ORGÂNICA (M.O.) E DE NPK APLICADOS NO SOLO

A Figura 12 apresenta um comparativo da quantidade de adubo (macronutrientes) aplicada durante todo o ciclo da cultura, sendo o T2 (adubação mineral) aplicado em 3 etapas para o Nitrogênio, o T3 (adubação orgânica) aplicado todo no início do experimento e os demais como produto da fertirrigação.

Diante dos dados apresentados na Tabela 10 foi possível estimar a quantidade de nutrientes na forma de NPK aplicados nos tratamentos.

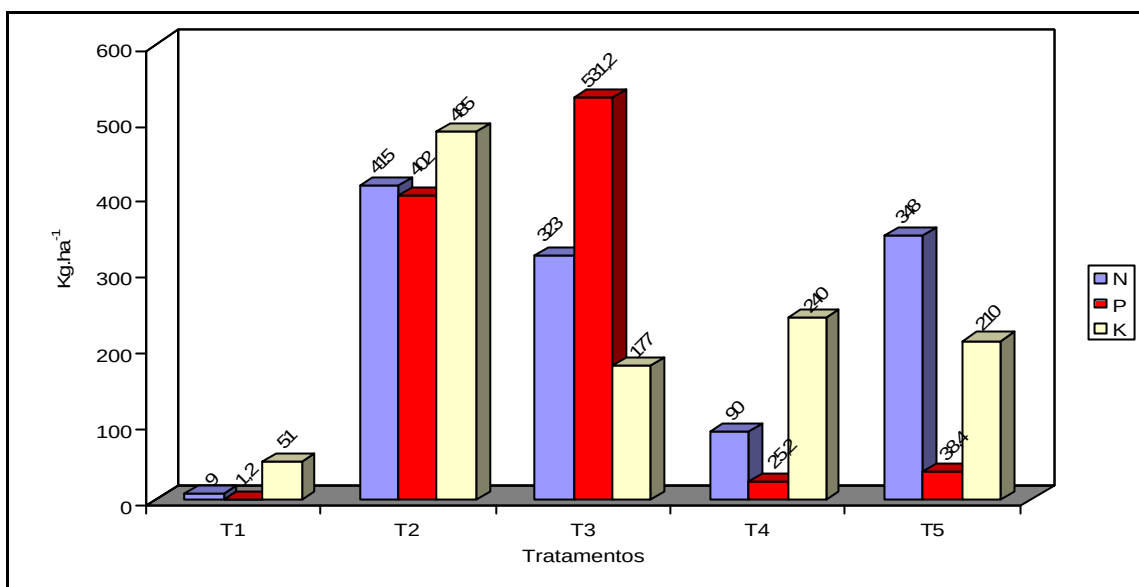


FIGURA 12. Quantidade de macronutrientes adicionados durante o experimento, para os cinco tratamentos

As diferentes quantidades de NPK aplicadas nos tratamentos 2 e 3 foram bem superiores aos tratamentos utilizando esgotos tratados, mas ao final do ciclo não foi obtida diferença significativa quanto à produtividade. Malavolta (1976), Luchese et al. (2002) afirmam que é de grande importância à existência de um equilíbrio nas proporções de nutrientes, pois facilita a absorção pelas plantas.

A adubação empregada no T2 tem como princípio a lei do mínimo ou lei de Liebig, que busca regular o máximo de produção. O adubo orgânico vermicompostado tem como características fornecer matéria orgânica e nutriente com máxima disponibilidade as plantas, funcionando como fonte de energia para os microrganismos, mantém a umidade do solo, aumenta a CTC e ajuda a manter os nutrientes em formas disponíveis as raízes das plantas (MALAVOLTA, 1976; BRADY, 1989; LUCHESE et al., 2002; MARQUES et al., 2003).

Já a fertirrigação (aplicação de fertilizantes necessários às culturas por meio da água de irrigação) é de grande importância, pois no caso de esgotos tratados ajuda na economia de insumos. Os nutrientes são aplicados quase que totalmente solubilizados e sua utilização provoca diversas trocas iônicas no próprio solo (MALAVOLTA, 1989; ROCHA et al., 2004).

A escassez de água em várias regiões faz-se inevitável o reúso de água para irrigação. A quantia específica de água para irrigação depende de clima, colheitas, terra e outras condições de contorno. Faz sentido usar o nitrogênio e o fósforo da água residuária como fertilizantes, as concentrações dos nutrientes têm que ser controladas para evitar fertilização excedente e possíveis contaminações de água subterrânea (CORNEL & WEBER, 2004).

Os fatores mais importantes na decomposição da matéria orgânica nos solos são provavelmente as relações C/N, C/P e C/S, pois estes determinam a competição entre os nutrientes essenciais para a atividade dos microrganismos (LUCHESE et al., 2002).

O volume de água aplicado durante a irrigação foi de 3,48m³ por tratamento. Esse volume foi decorrente como descrito no material e métodos. Dessa forma a partir dos volumes utilizados de efluentes na fertirrigação, foi possível estimar a quantidade de nutrientes e componentes presentes (Tabela 14).

TABELA 14. Quantidade de NPK e DQO, proveniente das fertirrigações, aplicadas no solo durante o cultivo do pimentão

Constituinte	T4	T5
Nitrogênio Total (Kg. ha ⁻¹)	85	286
Nitrogênio amoniacal (Kg. ha ⁻¹)	20	201
Fósforo total (Kg. ha ⁻¹)	27	37
Ortofosfato (Kg. ha ⁻¹)	19	25
Potássio (Kg. ha ⁻¹)	254	230
DQO (Kg. ha ⁻¹)	1514	957
Relação N:P:K	100:32:299	100:12:80
Relação DQO: N	100:6	100:30
Relação DQO: P	100:2	100:4

O potássio é um dos macronutrientes mais exigidos pelas culturas, sua necessidade é maior que as de fósforo. O nitrogênio e o fósforo são os elementos que mais comumente limitam a produção por estarem em proporções menores no solo. Sendo assim o efeito do potássio só pode se manifestar plenamente quando forem satisfeitas primeiramente as necessidades de nitrogênio e de fósforo. Conforme diz a lei de Liebig a produção é governada pelo elemento que está no mínimo (MALAVOLTA, 1989).

A grande quantidade de fósforo aplicado no solo apresenta uma considerável explicação, enquanto o nitrogênio e potássio dos adubos permanecem em formas que as raízes podem aproveitar durante um período mais ou menos longo, com o fósforo não ocorre o mesmo. O fósforo dos fertilizantes reage geralmente rápido com determinados elementos do solo, sendo desta forma convertido a outros componentes que as plantas não absorvem ou só o fazer com dificuldades. Pode-se dizer então que é necessário uma alta aplicação de fósforo para que a planta possa absorver durante algum tempo. Em geral as plantas não conseguem aproveitar mais que 10% do fósforo total aplicado (MALAVOLTA, 1989; RAIJ, 1991).

O nitrogênio é o nutriente exigido em maiores quantidades pelas culturas. Sua comprovação no consumo mundial supera em muito as quantidades utilizadas de fósforo (P_2O_5) ou potássio (K_2O) (RAIJ, 1991; MALAVOLTA, 1989).

No solo a matéria orgânica é fonte importante de nitrogênio, assim na solução do solo a matéria orgânica sofre diversas transformações por microrganismos, até chegar à formação do íon amônio (NH_4^+) e nitrato (NO_3^-), formas que são absorvidos pelas plantas.

O íon amônio é a forma em que o nitrogênio encontra-se protegido contra perdas por lixiviação, podendo ficar adsorvido na fase sólida devido às cargas positivas. O nitrato é a forma que predomina durante o processo de nutrição, porém, este por ter cargas negativas não se encontra protegido pela fase sólida do solo, podendo ser facilmente perdido por lixiviação, penetrando profundamente nos solos e podendo chegar a contaminar o lençol freático (LUCHESE et al., 2002).

5.4- AVALIAÇÃO AGRONÔMICA

5.4.1- PARÂMETROS DE CRESCIMENTO DA CULTURA DE PIMENTÃO

Com a variação das medidas de altura da cultura de pimentão foram feitas às curvas de regressão, que representam o comportamento do desenvolvimento da cultura com os diferentes tratamentos. Na Figura 13 são apresentadas as curvas ajustadas pelas equações de regressão apresentadas na Tabela 15, mostrando o comportamento da altura do pimentão, nos seus diferentes tratamentos durante o ciclo de crescimento.

De acordo com a Figura 13, as plantas que apresentaram maior crescimento (635 cm em média), foram aquelas submetidas ao tratamento T3; já as plantas submetidas ao

tratamento T5 apresentaram desenvolvimento médio ligeiramente inferior, alcançando a altura de 60,4 cm. Com os tratamentos T2, T4 e T1, o crescimento médio foi, respectivamente, de 559, 548 e 474 cm. Estatisticamente na ultima medição não se constatou diferença significativa entre os cinco tratamentos ao nível de 5% de probabilidade.

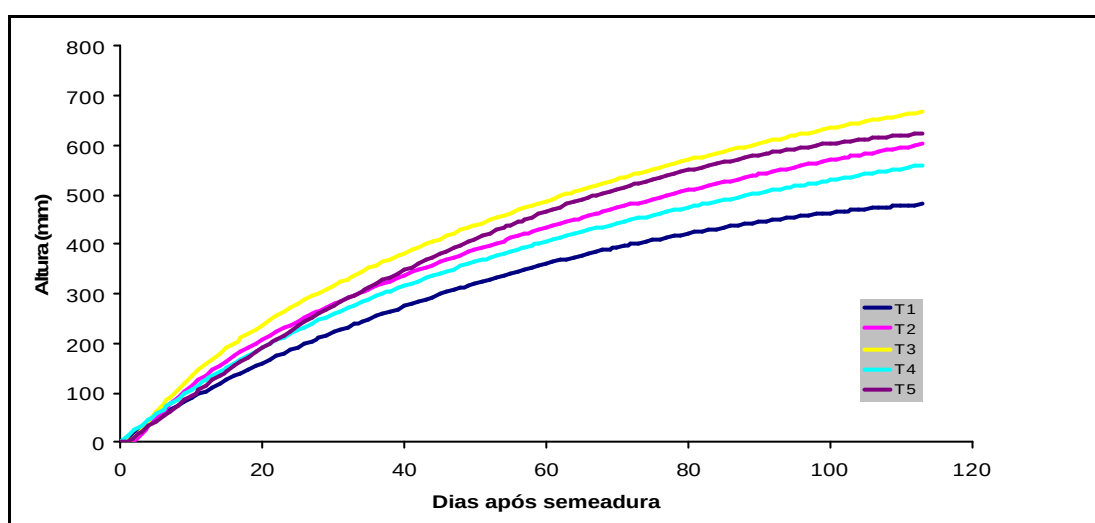


FIGURA 13. Comportamento temporal da altura do pimentão, para os cinco tratamentos

TABELA 15. Equações de regressão das curvas de variação da altura da cultura do pimentão

Tratamento	Equação	R ²
T1	$Y = 32,033 + 10,259x - 0,0426x^2$	0,995
T2	$Y = - 3,3085 + 10,464x - 0,044x^2$	0,999
T3	$Y = 24,401 + 9,1261x - 0,037x^2$	0,995
T4	$Y = 27,069 + 8,4113x - 0,034x^2$	0,997
T5	$Y = 14,775 + 7,7167x - 0,0323x^2$	0,999

Estão mostrados na Tabela 16 os valores médios do diâmetro da planta, do número de frutos e peso médio, área foliar da planta e produtividade do pimentão por unidade de área.

TABELA 16. Características vegetativas das plantas de pimentão segundo o tratamento a que foram submetidas

Tratamento	Diâmetro da planta (mm)	Área foliar (cm ²)	Nº de Frutos por parcela	Peso médio dos frutos (g)	Produtividade (t ha ⁻¹)
T1	12,87 b	3280,50 b	42,75 b	98,60 ab	15,27 b
T2	16,54 a	4945,55 a	68,75 ab	147,20 a	35,84 ab
T3	16,33 a	4855,89 a	91,25 a	135,57 a	38,31 a
T4	13,91 ab	3389,72 b	60,50 ab	69,02 b	12,09 b
T5	15,37 ab	4901,74 a	84,50 ab	135,57 a	26,89 ab

* As médias seguidas de pelo menos uma letra na coluna, não diferem do nível de 5% de probabilidade, pelo teste Tukey

A Figura 14 apresenta o desenvolvimento da área foliar em todos os tratamentos. Nota-se, no tratamento T3, que a área foliar foi maior durante o período vegetativo, em virtude das condições favoráveis de água e nutrientes disponibilizados para a planta; no tratamento T5 (efluente do reator UASB), a área foliar da cultura atingiu valor próximo ao obtido com o tratamento por adubação mineral, o que pode ser considerado um bom desempenho.

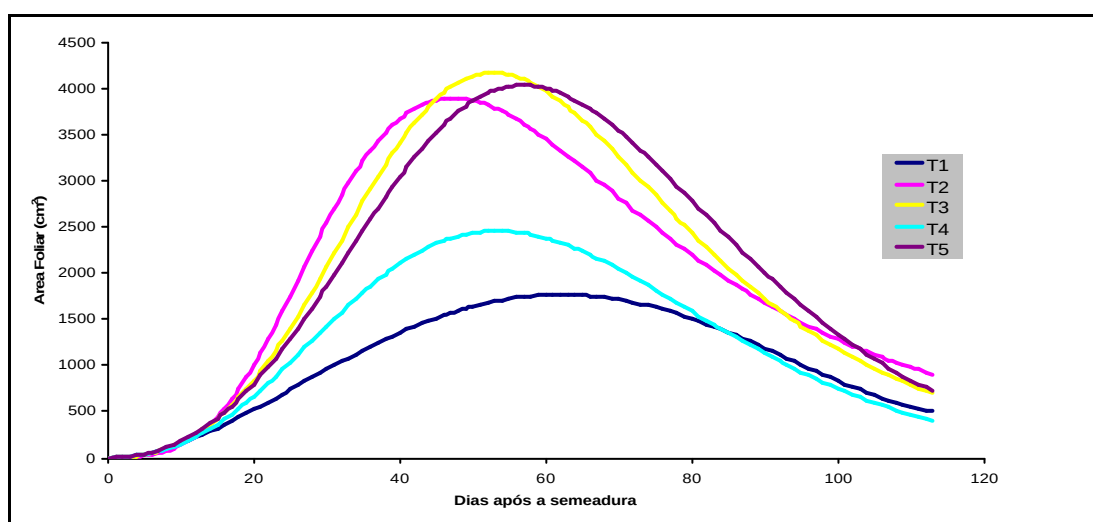


FIGURA 14. Comportamento temporal da área foliar da cultura do pimentão, para os cinco tratamentos

Observa-se que as áreas foliares máximas indicadas pelos dados na Tabela 16, não apresentam diferenças significativas em relação aos tratamentos T1 e T4 ($p > 0,05$) e, no tratamento T1 (solo sem adubação e água de poço), apresentou menor área foliar, enquanto no tratamento T4 (solo sem adubação e efluente de lagoa de polimento) foi levemente maior. Também não se observaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre as variáveis dos tratamentos T2, T3 e T5, ou seja, irrigação com água de poço e solo com adubo orgânico (vermicomposto), solo irrigado com lagoa de polimento e solo irrigado com efluente do reator UASB, respectivamente.

Comparando-se a área foliar dos tratamentos T2 (adubação completa) e T5 (efluente anaeróbio), conforme a Figura 14, a área foliar máxima em T2 foi atingida aos quarenta dias; no entanto, em T5 a área máxima ocorreu aos sessenta dias significando, quanto à utilização de esgotos na agricultura, que houve um retardamento do ciclo vegetativo da cultura.

O tratamento T2 (solo com adubação completa) apresentou, durante o período vegetativo, maior área foliar. Isto se deve as condições favoráveis de água e nutrientes disponibilizados à planta. No tratamento T5 a área foliar obtida no pimentão, atingiu valores superiores ao tratamento com adubação orgânica a partir dos 60 dias após semeadura, o que se pode considerar como de bom desempenho, levando-se em conta que teoricamente a cultura com maior área foliar apresente maior fitomassa e conseqüentemente maior produtividade. O maior pico de área foliar apresentada no experimento foi a do tratamento T3, com cerca de 4.170 cm^2 no 55º dia, em que o mesmo obteve a maior produtividade, enquanto que os tratamentos T4 e T1 apresentaram durante o ciclo uma área foliar máxima de 2.457 e 1.767 cm^2 , respectivamente, no período do 53º e 62º dias após

semeadura. Portanto, ambos apresentaram menor produtividade. Fica evidente que, em geral, as plantas necessitam de maior área foliar para realizar maior fotossíntese.

A baixa produtividade apresentada pelo tratamento T4 (Figura 15), pode ser devido ao fato de que o efluente da lagoa de polimento manteve-se com pH elevado. Segundo Raij et al., (1996), o nível de fertilidade do solo depende fundamentalmente do pH, pois este pode interferir na solubilidade dos elementos minerais. Geralmente o melhor valor de pH para a maioria das culturas é próximo à neutralidade (6,0 – 6,5), entretanto, os nutrientes tem suas disponibilidades alteradas com a variação do pH. Elementos como Fe, Cu, Mn, Zn e Al têm suas disponibilidades reduzidas com a elevação do pH. Por outro lado, N, P, K, Ca, Mg, S, B, Mo e Cl apresentam-se bastantes disponíveis, e em diferentes graus de intensidade. Contudo, há um comprometimento da disponibilidade de N, P, B, e S quando o pH excede 8,0.

As equações de ajuste das curvas de regressão de variações de área foliar da cultura do pimentão seguiram modelo polinomial, conforme dados descritos na Tabela 17.

TABELA 17. Equações de regressão das curvas de variação da área foliar da cultura de pimentão

Tratamento	Equação	R ²
T1	$Y = 0,0027 + 0,082x + 1,859 x^2 - 0,030x^3 + 0,0001x^4$	0,996
T2	$Y = 0,0073 + 0,2190x + 4,918x^2 - 0,090x^3 + 0,0004x^4$	0,940
T3	$Y = 0,0072 + 0,2149x + 4,827x^2 - 0,086x^3 + 0,0003x^4$	0,966
T4	$Y = 0,0044 + 0,132x + 2,968x^2 - 0,052x^3 + 0,0002x^4$	0,987
T5	$Y = 0,0065 + 0,193x + 4,338x^2 - 0,074x^3 + 0,0003x^4$	0,979

5.4.2- PRODUTIVIDADE DA CULTURA DE PIMENTÃO

Fica evidente que a utilização de esgotos tratados pode promover uma produção acentuada sem custos adicionais com fertilizantes químicos e mão de obra. O comportamento da produtividade, em função dos tratamentos, é apresentado na Figura 15. Observa-se que a produtividade para o tratamento T1, (irrigação com água de poço artesiano), foi similar ao tratamento T4, (irrigação com efluente do sistema de lagoa de polimento).

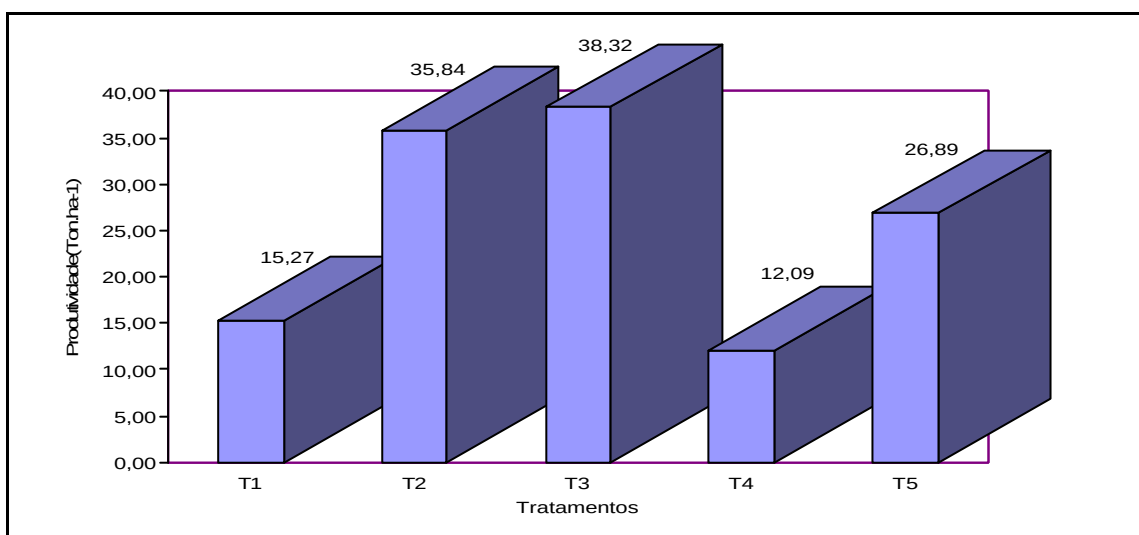


FIGURA 15. Produtividade final da cultura do pimentão, para os cinco tratamentos

Vale salientar que são efluentes que apresentam características diferentes, mas com uma grande semelhança pelas baixas disponibilidades nutricionais para as plantas, principalmente de nitrogênio. No entanto, os tratamentos T2, T3 e T5 apresentaram produtividades consideravelmente satisfatórias e dentro da faixa da realidade agrícola nacional que varia entre 25-40 t.ha⁻¹, valores médios citados por Reifschneider (2000).

A baixa produtividade verificada no tratamento T4 se deve, provavelmente, à alta concentração hidrogeniônica presente no efluente de lagoa de polimento. Para o pimentão,

o pH ótimo do solo se situa entre 5,5 a 7,0 (DOORENBOS & KASSAN, 1994). O pH influencia a solubilidade dos elementos químicos do solo, enquanto o fator limitante em relação à disponibilidade de nutrientes para a planta pode ser a presença de matéria orgânica, óxido de ferro, alumínio, manganês e sais de cálcio.

Os cátions ferro, manganês, zinco, cobre e cobalto são micronutrientes poucos assimilados pelas plantas, quando a fertirrigação ocorre em pH elevado, mais que 8 unidades. Neste contexto, o nitrogênio, o fósforo, o enxofre e o boro têm suas disponibilidades consideravelmente reduzidas (MALAVOLTA, 1976; MARQUES, 2003).

A mudança do pH do solo devido à água de irrigação ocorre de forma muito lenta (AYERS & WESTCOT, 1991). No caso do tratamento T4, o efluente de lagoa de polimento se manteve com pH variando entre 8,28 a 10,24, desta forma, os íons fosfatos poderão reagir rapidamente para formar compostos pouco solúveis, comprometendo a assimilação de fósforo pela planta (BRADY, 1989; MALAVOLTA, 1976).

5.5- SAIS NA ÁGUA DE IRRIGAÇÃO

A água utilizada na agricultura pode causar acumulação de sais ao solo. Dois riscos são simultaneamente estudados: o risco da salinidade representada pela condutividade elétrica (C) e o risco a sodicidade, denominado de S. A Tabela 18 apresenta a concentração de alguns sais responsáveis pelo nível de salinidade e sodicidade das águas utilizadas no experimento.

Em função da concentração de sais solúveis que possui, o perigo de sais da água é, de acordo com Richards (1954), do tipo C₃, portanto, salinidade alta, podendo provocar a salinização do solo. Para Ayers & Westcot (1991) águas com características (C₂)

apresentam baixa concentração de sais, entretanto, o efluente da lagoa de polimento (T4), apresenta níveis de salinização alto podendo induzir efeitos prejudiciais ao solo e afetar os processos fisiológicos das plantas mais sensíveis.

TABELA 18. Características das águas de irrigação quanto à salinidade e sodicidade

Variáveis		T1	T4	T5
pH		7,04	8,91	7,9
CE (25°C)	dS.m ⁻¹	0,98	1,6	1,43
Ca ²⁺	mmol.L ⁻¹	1,20	2,20	2,15
Mg ²⁺	mmol.L ⁻¹	1,56	1,56	1,65
Na ⁺	mmol.L ⁻¹	3,07	3,68	3,32
K ⁺	mmol.L ⁻¹	0,40	1,91	1,73
HCO ₃ ⁻	mmol.L ⁻¹	2,18	4,94	7,69
RAS	(mmol.L ⁻¹) ^{1/2}	1,35	0,68	0,72
Classificação	Richards (1954)*	C3S1	C3S1	C3S1
	Ayers & Westcot (1991)*	C2S1	C3S1	C2S1

*Segue em anexo o diagrama de Richards e Ayers & Westcot.

Segundo Cavalcante (2000), o sistema de classificação da água descrito por Ayers & Westcot (1991), parece mais coerente com as situações atuais das águas de irrigação do mundo.

Os efluentes utilizados apresentaram baixo perigo quanto a sodicidade (S₁), definido pela relação de adsorção de sódio (RAS). O perigo ou risco de sódio mostra-se mais agressivo que o de sais, devido afetar mais diretamente o solo do que as plantas. Dessa forma qualquer perigo de sais está associado a quatro de sódio (CAVALCANTE, 2000).

A combinação dos dois riscos (CS) classifica as águas utilizadas como boa para a irrigação.

Fica evidente que ao se realizar o reúso, além de economizar água de boa qualidade, pode-se criar um modelo de desenvolvimento sustentável, garantindo a produção e protegendo o meio ambiente. Portanto, como visto no experimento e nas literaturas citadas

a irrigação com águas residuárias tratadas devem obedecer a critérios e recomendações para reúso na agricultura. O uso destes sistemas mais avançados pode inviabilizar a prática do reúso, tornando inviável economicamente para o produtor, além do que efluentes como os de sistemas de lagoa de polimento apresentam baixa concentração de nutrientes, elevado pH e, ao final pode não apresenta uma produção desejável. Obrigando nestes casos a praticar a restrições de colheita.

A restrição de colheita pode ser usada para proteger a saúde de consumidores quando a água não se apresenta com qualidade para irrigação irrestrita. Água de qualidade mais pobre pode ser usada para irrigar colheitas que não-legume como algodão ou colheitas que serão cozidas antes do consumo (por exemplo, batatas). Porém, a restrição de colheita não provê proteção para os trabalhadores e suas famílias. Efluente de baixa qualidade é usado na irrigação e a água residuária é indiretamente usada (através de água de superfície contaminada) (BLUMENTHAL et al., 2000b). A restrição de colheita não é então uma única medida de controle adequada, mas deveria ser considerada dentro de um sistema integrado de controle. Restrição de colheita foi efetivamente usada no México, Peru e Chile (BLUMENTHAL et al., 2000b). No Chile o uso de restrição de colheita quando implementada com um programa de educação de higiene reduziu a transmissão de cólera ao consumidor de legumes crus em cerca de 90% (MONREAL, 1993).

6- CONCLUSÕES

- O sistema UASB produziu efluentes com uma eficiência de remoção de material carbonáceo (DQO) de 63% e sólidos suspensos totais de 62,47%, apresentando também uma concentração de nutrientes considerada benéfica, podendo substituir a fertilidade natural do solo e/ou aplicação de adubos e fertilizantes, desde que utilizado de forma adequada.
- A utilização de efluentes do reator UASB na produção de culturas consumidas cruas necessita de um pós-tratamento, objetivando remover microrganismos patogênicos, entretanto, sua utilização proporciona o desenvolvimento de varias culturas regionais (irrigação restrita).
- O efluente da lagoa de polimento apresentou excelente qualidade sanitária para irrigação irrestrita: ausência de ovos de helmintos e concentrações de coliformes termotolerantes abaixo dos valores sugeridos pela OMS (1989) para irrigação de vegetais consumidos crus.
- O pós-tratamento efetuado na lagoa de polimento necessita de cuidados especiais como, correção de concentrações nutricionais e ajuste do pH, proporcionando desta forma a fertirrigação de culturas com efluentes tratados.

- O pimentão irrigado com efluente da lagoa de polimento apresentou qualidade sanitária aceitável à contaminação por coliformes termotolerantes, estando dentro dos valores permitido pela ANVISA (2001).
- A elevada produtividade do pimentão irrigado com efluente do reator UASB (altas concentrações de matéria orgânicas e nutrientes), evidencia que disponibilizar esgotos tratados na agricultura é uma prática econômica e promissora.
- O número e peso médio dos frutos das culturas irrigadas com efluentes de UASB, com água de poço artesiano com adubação mineral e a mesma irrigação em solo com vermicomposto não apresentam diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade pelo teste Tukey.
- Os valores da área foliar não apresentaram diferença estatisticamente significativa aos tratamentos utilizando adubação mineral completa, adubação orgânica com vermicomposto e irrigação com efluente do reator UASB, assim como a produtividade.
- O tratamento planejado de esgotos e o reúso de águas tratadas numa comunidade pode gerar benefícios nutricionais alimentares e de saneamento, assim como lucros na produção final.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALÉM SOBRINHO, P. KATO, M. T. Análise crítica do uso do processo anaeróbio para tratamento de esgotos sanitários. In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição no solo. PROSAB. ABES. RIO DE JANEIRO RJ, 1999.

ALMEIDA, J. A. Problemática do Desenvolvimento Sustentável. In: BECKER, D. F. (org.). Desenvolvimento Sustentável: necessidade e/ou possibilidade? Santa Cruz do Sul: EDUNISC, 1997.

ALTIERI, M. Agroecologia: a dinâmica produtiva da agricultura sustentável. 2. ed. Porto Alegre: Ed. Universidade /UFRGS, 2000.

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução-RDC n.12, de 2 de janeiro de 2001.

APHA. AWWA.WPCF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 15 ed. Washigton, DC: American Public Health Association. American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 1995, 1134p.

ASSUNÇÃO, F. N. A. Questão Ambiental e Desenvolvimento. Brasília: CDS/UnB, 2002.

AYERS, R.S.; WESTCOT, D.W. A qualidade de água na agricultura. Trad. Gheyi, H.R. Medeiros, J.F.; Damaceno, F.A.V. Campina Grande, UFPB, 1991, 218p.

AYRES, R.M.; ALADASTER, G.T.; MARA, D.D.;LEE, D.L. A design equation for human estimate nemetodos egg removal on waste stabilizations ponds. Water Reacrch, v. 26. n°6, p863-865, 1992.

BEUCHAT, L.R. Food Safety Issues: Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw: a review. Food Safety Unit, WHO, Geneva, 1998. 42 p.

BALCÃO, N.; TEIXEIRA, A. C. C. (organizadoras): Controle Social do Orçamento Público. Instituto Polis. Publicações Pólis Nº44. São Paulo, 2003. 112 p.

BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; ANDRADE NETO, C. O.; VON SPERLING, M. Utilização de esgotos tratados em irrigação: aspectos sanitários. In: Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. PROSAB 3. ABES. Rio de Janeiro. 2003.

BEEKMAN, G. B. Qualidade e conservação da água. In: ENCONTRO NACIONAL DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA E EXTENSÃO RURAL, 1996, Brasília. Conferência...Brasília: Associação Brasileira das Entidades de Assistência Técnica e Extensão Rural, 1996.

BENINCASA, M. M. P. Análise de crescimento de plantas (noções básicas). Departamento Biologia Aplicada a Agropecuária – UNESP, Jaboticabal, SP, 41 p. 1988.

BIDONE, F. R. A. ; POVINELLI, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos, 1ª edição, São Carlos : EESC/USP, 1999. 120 p.

BLUMENTHAL, U., MARA, D.D., PEASEY, A., RUIZ-PALACIOS, G. AND STOTT, R. Guidelines for the microbiological quality of treated wastewater used in agriculture: recommendations for revising WHO guidelines. Bulletin of the World Health Organization, 78(9), 2000a. 1104–1116p.

BLUMENTHAL, U.J., PEASEY, A., RUIZ-PALACIOS, G. AND MARA, D. Guidelines for wastewater reuse in agriculture and aquaculture: recommended revisions based on new research evidence. WELL Study, Task No.: 68 Part 1. Water and Environmental Health at London and Loughborough, London, UK. 2000b. <http://www.lboro.ac.uk/well/resources/well-studies/well-studies.htm>.

BRANCO, S. M. Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária. 3ªed. CETESB. São Paulo, 1986.

BRANDENBURG, A. Agricultura Familiar, ONGs e Desenvolvimento Sustentável
Curitiba: UFPR, 1999.

BRADY, N. C. Natureza e propriedades dos solos. 7ª edição, Livraria Freitas Bastos. Rio de Janeiro, 1989.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Introdução à engenharia ambiental. Editora Prentice Hall. São Paulo, 2002.

CASTELLANE, P. D.; SOUZA, A. F.; MESQUITA FILHO, M. V. Culturas Olerícolas. In: Micronutrientes na Agricultura. (editores: FERREIRA, M. E. & CRUZ, M. C. P. da). Ed.Potafos. Piracicaba-SP. 1999. 734p.

CARR, R.M.; STRAUSS, M. Excreta-related infections and the role of sanitation in the control of transmission (chapter 5). In: Fewtrell, L. and Bartram, J. (eds) (2001). Water Quality: Guidelines, Standards and Health; Assessment of Risk and Risk Management for Water-related Infectious Disease. IWA on behalf of the World Health Organization, London, UK, 2001. pp. 89–113.

CARR, R.M.; BLUMENTHAL, U.J.; DUNCAN MARA, D. Guidelines for the safe use of wastewater in agriculture: revisiting WHO guidelines. Water Science Technology. vol. 50, n 02, pp 31-38. 2004.

CAVALCANTE, L. F. Sais e seus problemas nos solos irrigados. Areia-PB, Universidade Federal da Paraíba. 2000. 72p.

CAVALCANTI, Clóvis. (org.) Desenvolvimento e Natureza: Estudos para uma sociedade sustentável. São Paulo. Editora: Cortez; Recife, Fundação Joaquim Nabuco. 2ª ed., 1998. 429 p

CAVALCANTI, P. F. F. Integrated application of the UASB reactor and pond for domestic sewage treatment in tropical regions. Tese PhD. Wageningen University, Holanda, 2003.

CAVALCANTI, P. F. F.; VAN HAANDEL, A.; KATO, M. T.; VON SPERLING, M. LUDUVICE, M. L., MONTEGGIA, L. O. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lagoa de polimento. In: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. PROSAB 2, ABES, Rio de Janeiro, 2001.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios. DESA - UFMG. Belo horizonte MG, 1997.

CIRRA - CENTRO INTERNACIONAL DE REFERÊNCIA EM REÚSO DE ÁGUA. Reúso de água. Universidade de São Paulo. 2002. Disponível na Internet: <www.usp.br/cirra/reúso>. Citado: 10 Jan. 2003.

CONFEA. Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia. Ano VI – Nº 15 – Julho/Agosto/Setembro de 2003.

CORNEL, P.; WEBER, B. Water reuse for irrigation from waste water treatment plants with seasonal varied operation modes. Water Science Technology. vol. 50, n 02, pp 47-53. 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. Efeito da água no rendimento das culturas. Trad. Gheyi, H.R.; Sousa, A.A. de; Damaceno, F.A.V.; Medeiros, J.F. Campina Grande: UFPB, 1994.306p.

EHLERS, E., Agricultura Sustentável: Origens e Perspectivas de um Novo Paradigma. São Paulo: Livros da Terra. 1996.

FAO. Control de Aguas de Riego Destinadas a la Produccion Hortofruticola: Chile. Technical Report of Project TCP/CHI/2251(A). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. 1993.

FARUQUI, N., NIANG, S. AND REDWOOD, M. Untreated Wastewater Reuse in Market Gardens: A Case-Study of Dakar, Senegal. Paper presented at the International Water Management Institute workshop on Wastewater Use in Irrigated Agriculture: Confronting the Livelihood and Environmental Realities, in Hyderabad, India, November 2002. p11–14.

FIRMINO, P. T.; ARIEL, N. H. C.; ARRUDA, T. A.; ANTUNES, R. M. P..Valor protéico do grão, importância na alimentação humana e aplicação na fitoterapia e fitocosmética. In: O agronegócio do gergelim no Brasil. p. 303-325. EMBRAPA. Campina Grande, 2001.

FLORENTINO, E. R., Caracterização dos esgotos domésticos e efluentes das ETE's de Campina Grande, Guarabira e Sapé, 1993, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande-PB, 132f.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; VAN HAANDEL, A.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. Fundamentos do tratamento anaeróbio In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição no solo. PROSAB. ABES. Rio de Janeiro RJ, 1999.

GLAZER A., NIKAIDO H. Microbial Biotechnology, Fundamentals of Applied Microbiology. W.H.Freeman and Company. USA. 1995.

GLEICK, P.H. The World's Water 2000–2001: The Biennial Report on Freshwater Resources. Island Press, Washington, DC, USA., 2000.315 p.

GLIESSMAN, S. R. Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2000. 653 p.

GONÇALVES, R. F.; JORDÃO, E. P.; ALÉM SOBRINHO, P. Introdução. In: Desinfecção de efluentes sanitários. PROSAB 3. ABES. Rio de Janeiro, 2003.

GOVERNO DA PARAÍBA. Assentados da Reforma Agrária receberão recursos para investir em suas propriedades. Disponibilizado em: <http://www.saia.pb.gov.br/noticia.php?id=204>. 2005.

GRUPO TÉCNICO DE TRABALHO SOBRE REÚSO NÃO POTÁVEL DE ÁGUA. Câmara Técnica de Ciência e Tecnologia. Conselho Nacional de Recursos Hídricos, 2002. Memórias das três reuniões iniciais do grupo técnico de reúso do CNRH. Relatório.

GUJER, W.; ZEHNDER, A. J. B. Conversion processes in anaerobic digestion. v. 15, pag. 127. Water Science Technology. 1983.

HESPANHOL, I. Potencial de reúso no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. In: Mancuso, P. C. S.; Santos, H.F. (eds.) Reúso de águas. Barueri, SP: Manole, 2003, p37-96.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos, 3ªed. ABES. Rio de Janeiro, 1995.

KBUCHAVEK, K. A.(1998). A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in effluents to waste – water and sludge treatment processes. Water S. A.; n.24, v. 1, p. 49 – 56.

LA ROVERE, E. L., Manual de auditoria ambiental para estações de tratamento de esgotos domésticos – Rio de Janeiro: QualityMark Ed., 2002. 151p.

LÉON, G.; CAVALINI, J. M. Curso de tratamiento y uso de águas residuales. OPS. CEPIS. Lima, 1996.

LUCHESE, E. B.; FAVERO, L.O.B.; LENZI, E..Fundamentos da Química do Solo. Rio de Janeiro-RJ: Freitas Bastos, 2002.

MAAS, E.V. Crop tolerance to saline sprinkling water. Plant and soil. v.89,p.273-284, 1985.

MALAVOLTA, E. ABC da Adubação. São Paulo-SP: Agronômica Ceres, 5ª ed. 1989. 292p.

MALAVOLTA, E. Métodos para la determinación de deficiencia. In: Fitopatologia – Curso Moderno, Tomo IV. Ed. Por A. A. Sarasola e M. A. R. de Sarasola. Editorial Hemisfério Sur, Buenos Aires. 1965. p. 244-247.

MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola: nutrição de plantas e fertilidade do solo. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. 528 p.

MALAVOLTA, E. ; PIMENTEL, F. G.; ALCARDE, J. C. Adubos e adubações. Edição revista e atualizada. São Paulo: Nobel, 2000. 200p.

MARQUES, O. M.; COOURAUCCI FILHO, B. BASTOS, R. K. X.; KATO, M. T.; LIMA, V. L. A.; ANDRADE NETO, C. O.; MENDONÇA, F. C.; MARQUES, P. A. A.; MARQUES, A. T.; BELLINGIERI, P. H.; VAN HAANDEL, A. Uso de esgoto tratado em irrigação: aspectos agrônômicos e ambientais. In: Utilização de esgotos tratados em fertirrigação, hidroponia e piscicultura. PROSAB 3. ABES. Rio de Janeiro, 2003.

McCARTY, D. Changing contraceptive usage intentions: A test of the Fishbein model of intention. Journal of Applied Social Psychology, 1981,192p.

McCORMICK, J. Rumo ao Paraíso. A história do Movimento Ambientalista. Rio de Janeiro: Relume Dumará, 1992.

MENDONÇA, S. R. Fundamentos do tratamento biológico aeróbio. In: Lagoas de estabilização e aeradas mecanicamente: novo conceito, João Pessoa PB, 1990.

METCALF & EDDY. Inc. Wastewater Engineering treatment Disposal Reuse. 4. ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815p. 2003.

MONREAL, J. Estudio de caso de Chile. Evolucion de la morbilidad entérica en Chile, luego de la aplicacion de medidas de restriccion de cultivos en zonas regadas con aguas servidas. Presented at WHO/FAO/UNEP/UNCHS Workshop on Health, Agriculture and Environmental Aspects of Wastewater Use. Juitepec, 8–12 Nov. 1993.

MORAES, D. S. de L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. Revista Saúde Pública. Vol. 36. Nº 3, São Paulo. Junho de 2002.

NOYOLA A, MORGAN JM. Proceso Anaerobio-Anóxico-Aerobio (AAA) para la Eliminación de Materia Orgánica y Nitrógeno de Aguas Residuales. México DF:Coordinación de bioprocesos ambientales, Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México, 1993.

NEVES, D. P. Parasitologia Humana. 10ª.ed. São Paulo: Atheneu, 2003. 428 p.

PÁDUA, J. A. de. Um sopro de destruição: pensamento político e crítica ambiental no Brasil escravagista (1786-1888). Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 2002.

PAGANINI, W. S. Reúso de água na agricultura. In: Reúso de água. NISAM-USP. Manole. Barueri, 2003.

PAPADOPOULOS, I. Fertirrigação: situação atual e perspectiva para o futuro. In: FOLEGATTI, M. V. (Coord.) Fertirrigação: citrus, flores e hortaliças. Guaíba: Ed. Agropecuária, 1999. cap 1, p.11-84.

PRONAF. Programa Nacional de Agricultura Familiar. Disponível em: http://www.pronaf.gov.br/quem_somos/perguntas.htm. 2005.

RAIJ, B. V.; CANTARELLA, H.; QUAGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo. Campinas: Instituto Agrônômico: Fundação IAC, 1996. 285 p.

RAIJ, B. V. Fertilidade do solo e adubação. Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343 p.

REICHARD, K. & TIMM, L.C.. Solo, Planta e Atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. Barueri, SP: Manole, 2004.

REIFSCHNEIDER, F.J.B (Organizador). Capsicum: pimentas e pimentões no Brasil. Brasília-GO : EMBRAPA, 2000. 113p.

RICHARDS, L. A. Diagnostico y rehabilitacion de suelos salinos y sodicos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos da América, 1954. 172p.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. Introdução a química ambiental. Porto Alegre-RS: Bookman, 1ª ed. 2004.154p.

SACHS, I. Desarrollo sustentable, bio-industrialización descentralizada y nuevas configuraciones rural-urbanas. Los casos de India y Brasil. Pensamiento Iberoamericano 46, 1990. p. 235-256.

SACHS, I. Estratégias de Transição para o Século XXI. Desenvolvimento e Meio Ambiente. São Paulo: Studio Nobel / FUNDAP, 1993.

SACHS, I. Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável. Rio de Janeiro: Garamond, 2000.

SAMPAIO, E. V.; SAMPAIO, T. Desertificação: Conceitos, Causas, Consequências e Mensuração. FINEP; UFRPE, Março/2002.

SANTOS, V. A. Rendimento do Capim Elefante (*Pennisetum purpureum*) irrigado com Água Residuária Tratada. [Dissertação de mestrado – DEC – UFPB]. Campina Grande – PB. 1997. 120p.

SASAKI, J. L. S.; SENO, S. Importância da adubação na qualidade de algumas olerícolas (alho, cebola, couve-flor, pimentão e tomate). In: Importância da adubação na qualidade dos produtos agrícolas. Marco Eustáquio de Sá, Salatiel e Buzzetti coordenadores. São Paulo: Ícone, 1994. 437p.

SHUVAL, H.; LAMPERT Y.; FATTAL, B. Development of a risk assessment approach for evaluating wastewater reuse standards for agriculture water science and technology, Oxford. v.35, n.11-12, p.15-20, 1997.

SMIT, J.; NASR, J. Urban agriculture for sustainable cities: using wastes and idle land and water bodies as resources. *Environment and Urbanization*, 1992. p141–152.

SOARES, A.M.E., ZERBINI, A.M., MELO, M.C., VON SPERLING, M., CHERNICHARO, C.A.L. Perfil longitudinal de *Escherichia coli* e ovos de helmintos em sistema reator UASB / lagoa de polimento com chicanas. In: Anais, XXVII Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitária y Ambiental, AIDIS, Porto Alegre, 3-8 dezembro 2000. Anais eletrônicos. 2000.

SOUSA, J. T....{et al.}. Esgotos domésticos tratados, utilizados na agricultura familiar- Cartilha. Campina Grande: UEPB, 2003. 67p.

SOUSA, V. F.; SOUZA, A.P. Fertirrigação: princípios e métodos de aplicação, vantagens e limitações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22, Ilhéus, 1993. Anais. Ilhéus: SBEA, 1993. p. 2519-2528.

SUDENE, Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, Boletim Nº15, Serie Pedológica, 1972. 680p.

UNEP. Freshwater Pollution. UNEP/GEMS Environment Library No. 6. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 1991. 36 p.

VALE, F.R.; GUILHERME, L.R.G. & GUEDES, G.A.A. & FURTINI NETO, A.E. Fertilidade do Solo - Dinâmica e Disponibilidade de Nutrientes de Plantas. Lavras: ESAL/FAEPE, 1993. 171 p.

VAN DER HOEK, W., SAKTHIVADIVEL, R., RENSHAW, M., SILVER, J.B., BIRLEY, M.H. AND KONRADSEN. F. Alternate Wet/Dry Irrigation in Rice Cultivation: A Practical Way to Save Water and Control Malaria and Japanese Encephalitis? Research Report 47. International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 2001. 30 p.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos: um manual para regiões de clima quente. 1994.

VAZOLLER, R.F. Microbiologia e Saneamento Ambiental - Diversidade Microbiana e Desenvolvimento Sustentável. In: PADCT-FTPT "André Tosello": "Biodiversidade: perspectivas e oportunidades tecnológicas". 1995.

VIEIRA, M. I. Criação de Minhocas Comercialização, Reprodução, Produção, Instalações, Bons Lucros 1ª edição, São Paulo: Prata Editora, 1994. 86p.

VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos. DESA-UFMG. Belo Horizonte, 1996a.

VON SPERLING, M. Lagoas de estabilização. DESA-UFMG, Belo Horizonte, 1996b.

WHO - World Health Organization. Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture technical report series. 778. Geneva: World Health and Organization, 1989. 72p.

ANEXO

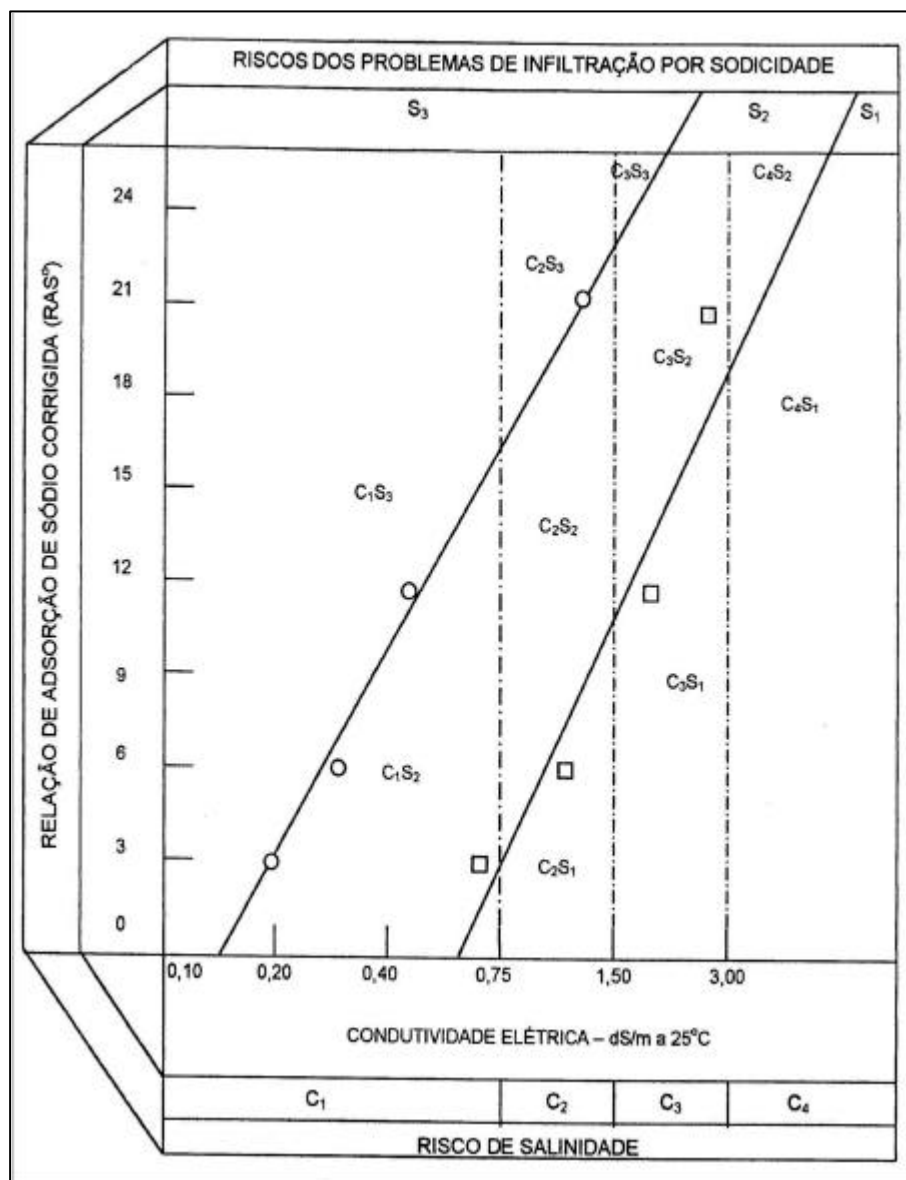


Diagrama para classificação de águas para irrigação (AYERS & WESTCOT, 1991)

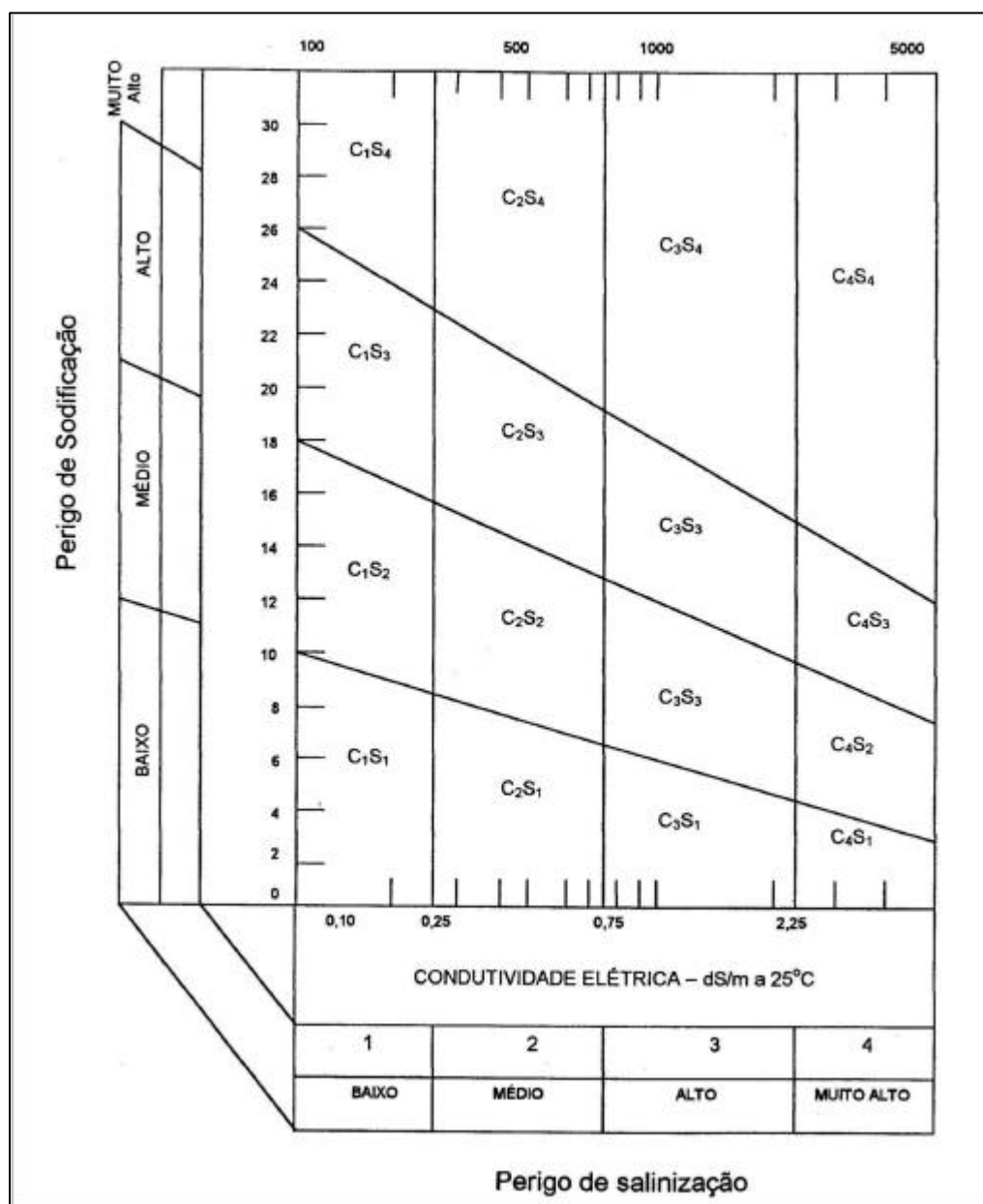


Diagrama para classificação de águas para irrigação (RICHARDS, 1954)

Valores da concentração de DQO das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Determinações	DQO (mgO₂.L⁻¹)			
	EB	UASB	LP	AP
1	355	270	152	40
2	499	171	175	82
3	446	123	162	69
4	426	266	905	250
5	610	16	184	60
6	384	124	151	45
7	719	327	121	37
8	62	62	106	28
9	106	47	248	14
10	531	286	320	83
11	412	114	311	68
12	387	290	319	105
13	256	175	199	58
14	607	227	242	63
15	122	170	258	57
16	396	169	455	68
17	607	158	380	82
18	126	130	168	25
19	234	174	255	113
20	149	62	217	58
21	537	125	316	97
22	491	116	227	82
23	285	92	281	59
24	218	192	197	61
25	767	153	211	88
26	619	242	218	120
MÉDIA	398,12	164,65	260,69	73,54
DESV.PAD.	198,41	80,65	154,23	44,57

Valores da concentração de Nitrogênio Total Kjeldahl das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Determinações	Nitrogênio (mg NTK.L ⁻¹)			
	EB	UASB	LP	AP
1	75,04	47,60	5,04	2,24
2	71,31	50,03	9,52	1,49
3	60,09	51,53	12,32	2,63
4	82,49	48,53	6,72	0,95
5	57,68	54,88	16,80	1,68
6	81,20	47,60	6,72	0,56
7	60,23	72,24	16,24	2,02
8	85,68	77,28	18,48	1,68
9	46,88	40,72	7,79	1,98
10	76,16	85,68	26,88	2,24
11	89,60	53,76	10,08	2,80
12	54,07	45,17	6,72	2,43
13	50,64	45,85	15,68	1,03
14	56,11	45,17	16,77	0,89
15	58,18	58,24	30,80	2,00
16	98,00	52,64	14,00	2,24
17	60,09	47,60	20,16	1,12
18	52,64	38,64	14,56	2,24
19	31,36	34,44	15,68	2,24
20	40,04	41,75	18,82	2,40
21	34,22	39,01	10,27	0,68
22	49,62	30,12	17,80	0,00
23	30,46	38,67	16,77	1,71
24	95,14	33,88	17,11	1,71
25	97,17	50,64	15,74	1,71
MÉDIA	63,76	49,27	14,70	1,71
DESV.PAD.	20,46	13,11	6,15	0,71

Valores da concentração de Nitrogênio Amoniacal das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Determinações	Nitrogênio Amoniacal (mg N-NH ₄ ⁺ .L ⁻¹)			
	EB	UASB	LP	AP
1	54,03	32,37	1,21	0,60
2	52,77	36,02	2,57	0,65
3	46,27	38,13	4,56	0,50
4	61,87	37,37	1,14	0,56
5	41,53	32,93	7,43	0,45
6	48,72	35,70	1,71	0,26
7	40,96	52,01	2,92	0,40
8	73,68	46,37	3,44	0,70
9	32,82	28,50	1,25	0,36
10	58,64	65,97	6,83	0,52
11	60,93	36,56	1,56	0,34
12	46,50	22,59	1,47	0,61
13	41,02	34,39	3,98	0,53
14	42,08	32,52	2,17	0,53
15	29,09	40,77	3,88	0,62
16	73,50	40,53	6,19	0,53
17	43,26	32,37	5,35	0,49
18	31,58	33,23	3,01	0,32
19	23,52	25,83	3,88	0,25
20	28,03	35,91	2,30	0,60
21	26,35	31,60	1,23	0,31
22	33,74	22,59	3,97	0,00
23	18,28	23,20	5,03	0,62
24	64,70	23,04	2,94	0,65
25	83,57	25,32	7,88	0,51
MÉDIA	46,30	34,63	3,52	0,48
DESV.PAD.	16,99	9,81	2,02	0,16

Valores da concentração de Fósforo Total das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Determinações	Fósforo (mg P.L ⁻¹)			
	EB	UASB	LP	AP
1	7,06	5,59	1,50	0,11
2	8,32	6,23	2,70	0,28
3	9,60	6,63	2,27	0,21
4	8,05	6,13	3,10	0,00
5	9,18	6,23	3,83	0,00
6	9,57	6,76	5,44	0,00
7	5,74	4,92	2,60	0,00
8	10,02	9,35	4,83	0,06
9	9,81	10,13	6,56	0,14
10	7,43	9,35	9,67	0,14
11	5,75	7,11	9,92	0,05
12	6,16	5,99	8,26	0,06
13	10,27	5,92	7,93	0,07
14	2,96	6,34	8,44	0,22
15	4,72	5,53	9,82	0,42
16	6,18	4,70	6,26	0,11
17	4,21	4,61	2,40	0,12
18	4,92	4,68	1,91	0,16
19	3,48	3,24	2,04	0,20
20	7,85	6,71	3,54	0,06
21	6,70	6,47	3,06	0,14
22	8,42	6,39	3,12	0,22
23	7,88	6,13	3,04	0,11
24	6,93	6,94	3,02	0,12
25	7,95	6,10	4,17	0,07
MÉDIA	7,07	6,31	4,75	0,13
DESV.PAD.	2,06	1,55	2,81	0,10

Valores da concentração de Orto Fosfato das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Determinações	Ort-P (mg P-PO ₄ ²⁻ .L ⁻¹)			
	EB	UASB	LP	AP
1	4,24	3,61	0,53	0,04
2	5,32	4,73	1,74	0,21
3	4,80	4,24	1,45	0,13
4	6,28	3,07	1,55	0,00
5	3,21	2,18	2,64	0,00
6	6,18	4,37	3,64	0,00
7	4,36	3,74	1,98	0,00
8	6,91	6,45	3,33	0,04
9	7,55	7,70	2,30	0,05
10	4,98	6,45	7,93	0,11
11	4,72	5,83	8,13	0,04
12	4,50	4,37	6,28	0,05
13	6,88	3,97	6,19	0,05
14	2,43	5,20	6,41	0,15
15	3,87	4,53	8,05	0,27
16	2,16	2,35	3,13	0,06
17	2,72	3,60	1,87	0,09
18	3,74	1,64	1,15	0,12
19	2,33	2,17	0,71	0,15
20	6,44	5,50	2,37	0,05
21	5,09	4,98	2,36	0,05
22	5,81	4,28	2,09	0,15
23	3,94	2,15	2,49	0,09
24	5,41	4,16	2,20	0,09
25	2,78	4,76	2,69	0,04
MÉDIA	4,67	4,24	3,33	0,08
DESV.PAD.	1,55	1,50	2,35	0,07

Valores da concentração de Potássio das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Determinações	Potássio (mg K.L ⁻¹)			
	EB	UASB	LP	AP
1	43,31	35,77	35,77	7,77
2	31,46	33,62	36,85	7,77
3	30,39	22,85	31,46	6,69
4	41,62	43,86	49,46	10,25
5	37,14	39,38	46,10	9,13
6	50,59	39,38	47,22	9,13
7	44,98	41,62	47,22	9,13
8	53,95	52,83	56,19	10,25
9	60,67	57,31	60,67	11,37
10	61,51	53,58	52,59	9,97
11	43,67	52,59	52,59	10,96
12	46,64	44,66	51,59	10,96
13	42,05	42,05	52,43	12,99
14	56,58	43,09	50,35	11,95
15	17,14	44,12	46,20	10,92
16	33,75	42,05	43,09	8,84
17	37,90	35,82	42,05	8,84
18	35,04	38,52	42,01	8,32
19	30,39	33,88	38,52	7,16
20	37,94	34,93	38,95	8,79
21	35,93	35,93	37,94	7,79
22	34,60	31,58	34,60	7,43
23	33,59	32,59	34,60	7,43
24	25,54	29,57	33,59	7,43
25	42,65	31,58	32,59	7,43
MÉDIA	40,36	39,73	43,79	9,15
DESV.PAD.	10,67	8,26	8,15	1,69

Valores de Condutividade Elétrica das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Determinações	Condutividade Elétrica (dS.m ⁻¹)			
	EB	UASB	LP	AP
1	1,84	1,27	1,45	0,99
2	1,68	1,37	1,43	1,10
3	1,95	1,47	1,67	1,08
4	1,60	1,33	1,46	1,00
5	1,70	1,22	1,29	0,93
6	1,83	1,34	1,58	1,03
7	1,65	1,40	1,31	1,05
8	2,55	1,65	1,58	1,12
9	2,40	1,59	2,18	0,92
10	1,94	1,76	2,49	0,99
11	1,72	1,58	1,61	0,82
12	1,56	1,50	1,53	0,89
13	2,11	1,48	1,53	0,87
14	0,89	1,57	1,81	1,02
15	1,45	1,42	1,76	0,93
16	1,59	1,34	1,58	0,93
17	1,43	1,28	1,54	0,98
18	1,00	1,45	1,56	0,94
19	1,55	1,16	1,39	0,94
20	1,60	1,33	1,46	1,00
21	1,65	1,40	1,31	1,05
22	2,55	1,65	1,58	1,12
23	1,56	1,50	1,53	0,89
24	1,45	1,42	1,76	0,93
25	1,43	1,28	1,54	0,98
MÉDIA	1,71	1,43	1,60	0,98
DESV.PAD.	0,40	0,15	0,26	0,08

Valores de concentração da Alcalinidade Total das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Determinações	Alcalinidade (mg CaCO ₃ .L ⁻¹)			
	EB	UASB	LP	AP
1	261,08	268,86	168,72	76,13
2	266,80	393,54	303,03	129,54
3	584,10	485,10	336,60	143,55
4	762,30	660,00	363,00	145,20
5	788,70	759,00	412,50	151,80
6	640,20	567,60	448,80	128,70
7	684,32	478,40	397,28	143,52
8	370,24	509,60	305,76	124,80
9	401,44	445,12	270,40	131,04
10	336,96	395,20	228,80	133,12
11	343,20	388,96	210,08	139,36
12	320,32	407,68	214,24	136,24
13	278,72	384,80	264,16	140,40
14	486,72	426,40	295,36	139,36
MÉDIA	466,08	469,30	301,34	133,05
DESV.PAD.	189,61	125,00	82,98	17,99

Valores da concentração de Ácidos Graxos Voláteis das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Determinações	A.G.V.(mg HAC.L ⁻¹)			
	EB	UASB	LP	AP
1	125,38	54,63	30,50	10,94
2	178,02	69,53	32,89	13,83
3	147,06	14,47	6,28	19,32
4	84,07	47,03	13,32	9,45
5	177,80	66,94	27,61	7,02
6	139,27	70,06	16,70	8,65
7	244,28	82,12	54,34	20,80
8	99,71	52,88	43,59	16,49
9	56,81	59,59	23,91	10,64
10	52,59	54,47	21,01	13,24
11	145,09	60,31	16,70	26,52
12	86,40	48,23	16,44	10,32
13	15,20	27,47	7,90	7,33
14	223,67	63,47	27,83	1,93
MÉDIA	126,81	55,09	24,21	12,60
DESV.PAD.	65,85	17,44	13,34	6,40

Valores do Potencial Hidrogeniônico das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Determinações	Potencial Hidrogeniônico - pH			
	EB	UASB	LP	AP
1	7,78	8,02	9,23	7,30
2	7,57	7,77	8,86	6,79
3	7,56	8,18	8,70	7,24
4	7,55	7,83	8,80	7,18
5	7,42	7,53	8,44	6,59
6	8,10	8,35	8,80	7,93
7	7,90	8,27	8,63	7,58
8	8,06	8,35	10,24	7,44
9	7,95	8,35	8,73	7,95
10	7,97	8,27	9,22	7,38
11	7,90	8,10	9,17	7,06
12	7,59	8,05	9,17	7,28
13	7,68	7,78	8,41	7,15
14	7,17	7,80	8,35	6,93
15	7,53	7,92	8,44	6,76
16	7,39	7,97	9,40	6,38
17	7,75	7,99	9,31	7,01
18	7,36	7,61	8,70	6,67
19	7,80	7,99	9,68	6,64
20	6,92	7,42	8,95	6,37
21	7,40	7,81	8,72	7,28
22	7,23	7,52	8,83	6,70
23	7,69	7,89	9,11	7,28
24	7,17	7,44	8,51	6,62
25	7,16	7,41	8,28	6,52
MÉDIA	7,58	7,90	8,91	7,04
DESV.PAD.	0,31	0,30	0,45	0,44

Valores da concentração de Sólidos Suspensos Totais e Voláteis das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Sólidos Suspensos (mg.L⁻¹)								
Determinações	EB		UASB		LP		AP	
	SST	SSV	SST	SSV	SST	SSV	SST	SSV
1	138	88	28	16	53	47	16	8
2	172	120	28	22	20	16	8	5
3	155	104	28	19	36	31	12	6
4	74	54	48	36	128	108	17	9
5	150	132	60	48	166	140	13	7
6	52	40	32	18	88	66	72	30
7	114	104	60	28	134	112	30	12
8	264	144	52	14	170	144	106	12
9	72	52	48	36	104	92	30	14
10	158	120	60	48	90	72	35	13
11	108	88	68	58	108	88	23	10
12	88	68	68	42	114	92	15	8
MÉDIA	128,75	92,83	48,33	32,08	100,92	84,00	31,42	11,17
DESV.PAD.	57,73	33,72	15,67	14,71	47,11	39,90	29,04	6,58

Valores da concentração de Sólidos Totais e Voláteis das amostras analisadas durante o período de monitoramento do sistema.

Sólidos Totais (mg.L⁻¹)								
Determinações	EB		UASB		LP		AP	
	ST	SV	ST	SV	ST	SV	ST	SV
1	2076	1380	802	89	1902	1323	613	50
2	2963	348	1732	137	1723	178	2783	1371
3	1130	113	888	135	904	111	645	11
4	848	339	819	100	881	118	533	50
5	1488	418	749	79	925	209	616	26
6	2469	1770	925	365	945	161	656	126
7	1469	401	866	176	876	125	615	77
8	2005	1781	1081	149	1047	455	649	64
9	1280	162	1134	164	1165	116	640	25
10	880	204	790	48	776	101	614	91
11	1790	1268	840	290	783	58	570	46
12	800	104	700	176	845	241	654	90
13	1014	90	668	27	1197	274	957	96
14	1460	356	2304	1543	1268	197	721	109
15	653	70	968	145	1092	131	596	44
16	1053	186	1002	165	1282	412	616	92
17	1219	348	887	103	1073	229	620	58
18	864	349	887	177	999	148	925	93
19	780	212	785	51	776	106	615	96
20	1994	1493	966	295	707	53	572	32
21	782	104	1062	181	868	230	673	94
22	950	169	855	132	840	176	656	106
23	769	15	604	28	812	110	584	29
24	1410	309	738	49	858	84	608	42
25	1667	579	882	70	917	81	683	57
MÉDIA	1352,52	502,72	957,36	194,96	1018,45	217,09	736,56	119,00
DESV.PAD.	594,48	552,40	353,23	293,06	286,59	250,51	436,97	262,69