

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ESTUDO DA RETENÇÃO DE FÓSFORO E DO
COMPORTAMENTO DOS COLIFAGOS SOMÁTICOS
E BACTERIÓFAGOS F-ESPECÍFICOS EM UM
SISTEMA DE TERRA ÚMIDA CONSTRUÍDA

KÁTIA IRO DIAS ALTIDIS

Campina Grande

Dezembro/2004

**ESTUDO DA RETENÇÃO DE FÓSFORO E DO COMPORTAMENTO DOS
COLIFÁGOS SOMÁTICOS E BACTERIÓFAGOS F-ESPECÍFICOS EM UM
SISTEMA DE TERRA ÚMIDA CONSTRUÍDA**

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
CURSO DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA RETENÇÃO DE FÓSFORO E DO COMPORTAMENTO DOS
COLIFÁGOS SOMÁTICOS E BACTERIÓFAGOS F-ESPECÍFICOS EM UM
SISTEMA DE TERRA ÚMIDA CONSTRUÍDA**

KÁTIA IRO DIAS ALTIDIS

ORIENTADORES

Dra. BEATRIZ SUZANA OVUSKI DE CEBALLOS

Dra. ANNEMARE KÖNIG

CAMPINA GRANDE - PB

2004

KÁTIA IRO DIAS ALTIDIS

**ESTUDO DA RETENÇÃO DE FÓSFORO E DO COMPORTAMENTO DOS
COLIFÁGOS SOMÁTICOS E BACTERIÓFAGOS F-ESPECÍFICOS EM UM
SISTEMA DE TERRA ÚMIDA CONSTRUÍDA**

**Dissertação apresentada ao curso de mestrado
em Engenharia Civil da Universidade Federal
de Campina Grande. Em cumprimento às
exigências para a obtenção de grau de Mestre.**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: RECURSOS HÍDRICOS
SUB-ÁREA: ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

CAMPINA GRANDE

2004



A468e Altidis, Kátia Iro Dias.
Estudo da retenção de fósforo e do comportamento dos colifagos somáticos e bacteriófagos F-específicos em um sistema de terra úmida construída / Kátia Iro Dias Altidis.
- Campina Grande, 2004.
99 f.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) -
Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, 2004.
"Orientação : Profa. Dra. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos, Profa. Dra. Annemarie König".
Referências.

1. Tratamento de Água - Sistema de Terra Úmida. 2. Água - Redução de Fósforo. 3. Água - Remoção de Colifagos Somáticos. 4. Água - Remoção de Bacteriófagos F-Específicos. 5. Dissertação - Engenharia Civil. I. Ceballos, Beatriz Susana Ovruski de. II. König, Annemarie. III. Universidade Federal de Campina Grande - Campina Grande (PB). IV. Título CDU 628.16(043)

**ESTUDO DO FÓSFORO E DO COMPORTAMENTO DOS COLIFÁGOS
SOMÁTICOS E BACTERIÓFAGOS F-ESPECÍFICOS EM UM SISTEMA DE TERRA
ÚMIDA CONSTRUÍDA**


KÁTIA IRO DIAS ALTIDIS

Dissertação aprovada em: ____/____/____


BANCA EXAMINADORA



Dr. Beatriz Susana Ovuski de Ceballos - UFCG
Orientadora

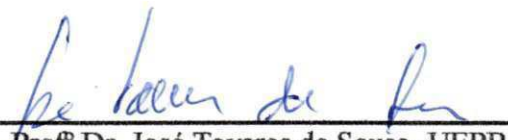


Prof^a PhD. Annemarie König - UFCG
Co-Orientadora



Prof^a Dr. Mônica de Amorim Coura - UFCG

Examinadora Interna



Prof^o Dr. José Tavares de Sousa -UEPB
Examinador Externo

CAMPINA GRANDE – PB

DEZEMBRO 2004

Dedico este trabalho ao meu pai Andreas F. L. Altidis por ter enfrentado todas as dificuldades impostas pela vida e não ter desistido dos nossos sonhos, minha formação acadêmica e pessoal. Apesar de não estar acompanhando as nossas conquistas a sua presença é constante. Te amo e sinto muitas saudades do baixinho.

A minha mãe as minhas sinceras homenagens por esta ser uma mulher forte, incentivadora e guerreira, que com muita coragem nos guiou com todo seu amor. Às minhas irmãs Jaqueline, Marina, ao meu irmão Alexandre Rafael e a minha cunhada Patrícia por todo o carinho e a torcida atribuída. Ao meu esposo pelo incentivo, pela paciência e pelo amor a mim direcionado, não me deixando fraquejar nos momentos difíceis da vida.

Agradecimentos

À professora Beatriz S. O.Ceballos (Orientadora) e a professora Annemare König
pela oportunidade de orientação e de confiança depositado em minha pessoa.

A todos os demais professores que de forma direta ou indiretamente ajudaram-
me na realização deste trabalho.

A todos os colegas de estudo e a equipe do laboratório AESA que foram de
fundamental apoio para a realização do trabalho.

A Deus por ter colocado estas pessoas especiais em meu caminho, que ajudaram-
me a realizar com e fazer novas amizades.

A todos, os meus sinceros agradecimentos!

Índice

LISTA DE FIGURAS.....	i
LISTA DE TABELAS.....	ii
RESUMO.....	iii
1 – INTRODUÇÃO.....	01
2 – OBJETIVO.....	03
2.1 – Objetivo Geral.....	03
2.2 – Objetivo Especificos.....	03
3 – REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	04
3.1 – A Água.....	04
3.1.1 – Escassez de Água.....	04
3.1.2. - Reuso de Água.....	05
3.1.3 – Eutrofização.....	06
3.2 – O Fósforo.....	07
3.2.1 – Classificação.....	07
3.2.2 – O Ciclo do Fósforo.....	09
3.2.2.1 – A Relação do Fósforo com a Vida.....	09
3.2.2.2 – Precipitação do Fósforo.....	10
3.2.2.3 – A Presença de Fósforo nas Águas.....	11
3.3 – Tratamento e Reúso.....	12
3.4 – Sistemas de Terras Úmidas.....	12
3.4.1 – Tipos de Terras Úmidas Construídas.....	15
3.4.2 – A Importância das Plantas no Sistema de Terras Úmidas.....	17
3.4.3 – As Plantas Cultivadas no Sistema de Terras Úmidas.....	19
3.5 – Remoção de Fósforo no Sistema de Terras Úmidas.....	21
3.5.1 – Atuação das Plantas na Remoção de Fósforo no Sistema de Terra Úmida...	22
3.5.2 – Atuação do Substrato na Remoção de fósforo no sistema de Terra Úmida..	23
3.6 – Microrganismos Indicadores de Contaminação Fecal.....	24
3.6.1 – Coliformes.....	25
3.6.2 – Os Bacteriófagos.....	26
3.6.2.1 – Classificação e Ecologia dos Bacteriófagos (CS e BF ⁺).....	29
3.6.2.2 – Uso dos Bacteriófagos como Organismos Indicadores de Contaminação Fecal.....	31
3.7 – Remoção de Patogênicos no Sistema de Terras Úmidas.....	32

4 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	35
4.1 – Descrição do Sistema de Terras Úmidas.....	35
4.2 – Descrição das Terras Úmidas Construídas.....	38
4.3 – Alimentação do Sistema de Terras Úmidas Construídas.....	39
4.4 – Plantio da Vegetação nas Terras Úmidas Construídas.....	39
4.4.1 – <i>Typha ssp</i>	39
4.4.2 – Arroz (<i>Oryza sativa L.</i>).....	40
4.5 – Coletas.....	41
4.5.1 – Pontos de Coleta de Água.....	41
4.5.1.1 – Identificação dos Pontos da Coleta.....	41
4.5.1.2 – Procedimento na Coleta das Amostras.....	42
4.5.2 – Coleta da Vegetação.....	42
4.5.2.1 – Coleta do Arroz.....	43
4.5.2.2 – Coleta da <i>Typha ssp</i>	45
4.5.2.3 – Coleta da Planta Arroz e <i>Typha ssp</i> para Análises Microbiológicas.....	46
4.5.3 – Coleta do Substrato.....	47
4.6 – Análises.....	48
4.6.1 – Água.....	48
4.6.2 – Vegetação.....	49
4.6.3 – Substrato.....	49
4.6.3.1 – Análise de Fósforo na Brita.....	50
4.6.4 – Análise Estatística.....	51
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	52
5.1 – Eficiência do Sistema.....	53
5.1.1 – pH.....	53
5.1.2 – Fósforo Total (PT).....	54
5.1.3 – Ortofosfato	57
5.1.4 – DBO ₅	59
5.1.5 – DQO	61
5.1.6 – Coliformes Termotolerantes.....	63
5.1.7 – Colifágos Somáticos	65
5.1.8 – Bacteriófagos F-específicos	67
5.1.9 – Remoção dos Parâmetros Físicos, Químicos e Microbiológicos ao longo de todo o período experimental das Terras Úmidas Construídas.....	69
5.2 – Evolução Temporal da Fitomassa	72
5.2.1 – Evolução do Crescimento da Fitomassa da <i>Typha ssp</i>	72
5.2.2 – Evolução do Crescimento da Fitomassa do arroz (<i>Oryza sativa</i>)	74
5.3 – Contaminação da Parte Aérea das Culturas	76
5.3.1 – Contaminação da Parte Aérea da <i>Typha ssp</i> com Coliformes Termotolerantes.....	76
5.3.2 – Contaminação da Parte Aérea <i>Oryza sativa</i> com Coliformes Termotolerante.....	78

5.4 – Estimativa da Distribuição de PT no Sistema de Terras Úmidas Construídas.....	79
6 – CONCLUSÕES.....	86
7 – SUGESTÕES.....	88
8 – REFERÊNCIAS.....	89

ANEXOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1	-Classificação do Reuso da água adotada pela ABES, com base na classificação de Westerhoff (1984).....	06
Figura 3.2	- O sistema de terras úmidas construídas com fluxo superficial.....	16
Figura 3.3	- Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial.....	17
Figura 3.4	- <i>Typha ssp</i> cultivada no sistema de terra úmidas construídas na UFCG.....	20
Figura 3.5	-Arroz cultivado no sistema de terras úmidas construídas na UFCG.....	20
Figura 3.6	-Transformação do fósforo no solo e na água de um sistema de terra úmidas. 1)adsorção e desorção; precipitação e dissolução, 2) necessidade da planta e microrganismos, 3)fragmentação, 4) mineralização, 5) sedimentação e enterro..	22
Figura 3.7	- Esquema do ciclo na replicação de um fago lítico. (1) Adsorção da partícula de fago na célula hospedeira-(a) Partícula de fago antes da fixação; (b) Contato com a parede da célula hospedeira; (c)Fixação na parede da célula hospedeira – (2) Penetração e injeção do ácido nucléico do fago- (3)Síntese de macromolecular e das subunidades-(4) Maturação do vírus- (5) Libertação dos vírus, acompanhado da lise das célula hospedeiras.....	27
Figura 3.8	-Esquema dos tipos morfológicos de bacteriófagos.....	28
Figura 4.1	-Sistema TUCs instalados próximo ao córrego que atravessa a Universidade Federal Campina Grande (UFCG).....	35
Figura 4.2	-Esquema simplificado do sistema de terra úmida experimental construída na UFCG/PB, destacando-se a distribuição dosa diferentes tratamentos (substrato+vegetação) para água residuária.....	37
Figura 4.3	-Sistema de terras úmidas construídas dentro da UFCG.....	37
Figura 4.4	-Unidade do sistema de terras úmidas: (a) Visualização as TUCs instalados no campo experimental da UFCG. (b) Esquema de uma TUCs, destacando-se a alimentação com afluyente e com a saída do efluente.....	38
Figura 4.5	-Detalhes tubo extravasor em uma TUC mostrando a torneira usada para coleta das amostras.....	39
Figura 4.6	-Alimentação das terras úmidas construídas.....	39

Figura 4.7	-Detalhes do corte da <i>Typha spp</i> na TUC com substrato areia do sistema de terras úmidas construídas.....	40
Figura 4.8	-(a) Esquema de uma vista superior da distribuição das mudas de arroz dentro das terras úmidas. (b) TUC do sistema terras úmidas construídas, com a plantação de arroz, instalados na UFCG.....	41
Figura 4.9	-Colheita dos grãos de arroz. (a)Corte do pêndulo do arroz. (b)Separação dos pêndulos do arroz em sacos plásticos.....	43
Figura 4.10	-Colheita da parte aérea e das raízes da planta de arroz em uma TUC com leito de brita.....	44
Figura 4.11	-Separação da parte aérea das raízes das plantas de arroz.....	44
Figura 4.12	Detalhes das raízes da planta de arroz cultivadas nas TUCs com substrato de areia e substrato de brita. (a)Característica das raízes da planta cultivada no substrato areia. (b)Comparação entre as raízes das plantas de arroz cultivadas nas TUCs com substrato de areia e nas TUCs com substrato de brita.....	45
Figura 4.13	- Detalhes do corte para separar a parte aérea da das raízes e de como se encontravam as raízes, da <i>Typha spp</i> , dentro das TUCs. (a) Tanque com substrato de areia. (b) Tanque com substrato de brita.....	46
Figura 4.14	- Coleta da parte aérea da planta do arroz para a análise microbiológica. (a) Preparação para o corte da amostra. (b) Corte da amostra.....	46
Figura 4.15	-Armazenamento da amostra.....	47
Figura 4.16	Coleta dos Substratos nas terras úmidas construídas. (a) TUC com o substrato areia. (b) TUC com o substrato brita.....	47
Figura 5.1	-Evolução temporal de Coliformes Termotolerantes (CTerm), Colifágos Somáticos (CS) e Bacteriófagos F-específico (BF ⁺) nos efluentes das terras úmidas construídas com substrato de areia (são valores médios de três repetições).....	70
Figura 5.2	-Evolução temporal de Coliformes Termotolerantes (CTerm), Colifágos Somáticos (CS) e Bacteriófagos F-específico (BF ⁺) nos efluentes das terras úmidas construídas com substrato de brita(são valores médios de três repetições).....	71
Figura 5.3	-Comparação das concentrações de fósforo total no afluente e nos efluentes das	

	terras úmidas construídas com cultivo <i>Typha ssp</i> em ambos os substratos (areia e brita).....	73
Figura 5.4	-Comparação das concentrações de ortofosfato no afluente e nos efluentes das terras úmidas construídas com cultivo de <i>Typha ssp</i> em ambos os substratos (areia e brita).....	74
Figura 5.5	- Comparação das concentrações de fósforo total no afluente e nos efluentes das terras úmidas construídas com cultivo de arroz em ambos os substratos, areia e brita.....	75
Figura 5.6	- Comparação das concentrações de ortofosfato no afluente e nos efluentes das terras úmidas construídas com cultivo de arroz em ambos os substratos, areia e brita.....	76
Figura 5.7	- Esquema da distribuição de fósforo total nas terras úmidas construídas na UFCG, com substrato de areia. (a) No sistema de TUC sem vegetação-controles. (b) No sistema de TUC com cultivo de arroz.(c) No sistema com cultivo de <i>Typha ssp</i>	81
Figura 5.8	- Esquema da distribuição de fósforo total nas terras úmidas construídas na UFCG, com substrato de brita. (a) No sistema de TUC controles. (b) No sistema de TUC com cultivo de arroz.(c) No sistema com cultivo de <i>Typha ssp</i>	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	-Principais formas de fósforos orgânicos e inorgânicos e suas formas solúveis e insolúveis.....	08
Tabela 3.2	-Porcentagem das espécies iônicas de fosfatos presentes em solução, em diferentes valores de pH.....	11
Tabela 3.3	-Tratamento água residuárias nos sistemas de terras úmidas.....	14
Tabela 3.4	-Funções das macrófitas nos Sistema de Terras úmidas.....	19
Tabela 3.5	-Datas e autores das descobertas dos bacteriófagos e indicação de suas bactérias hospedeiras.....	29
Tabela 3.6	-Trabalhos publicados a sobre remoção de organismos patogênicos no sistema de terras úmidas.....	34
Tabela 4.1	Distribuição dos substratos e das vegetações nos tanques do sistema de terras úmidas.....	36
Tabela 4.2	-Parâmetros analisados nas amostras de água do sistema “Terras Úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.....	48
Tabela 4.3	-Parâmetros analisados nas amostras de plantas do sistema “Terras Úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.....	49
Tabela 4.4	-Parâmetros analisados nas amostras de substrato do sistema “Terras úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.....	49
Tabela 5.1	-Potencial Hidrogeniônico nos deferentes tratamentos com <i>Typha spp</i> e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG.....	53
Tabela 5.2	-Concentrações médias mensais* (mg/l) e porcentagem de remoção do fósforo total (mg/l) nos diferentes tratamentos com <i>Typha spp</i> e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG..	54
Tabela 5.3	-Concentrações médias mensais* (mg/l) e porcentagem de remoção do ortofosfato (mg/l) nos diferentes tratamentos com <i>Typha spp</i> e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG..	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	-Principais formas de fósforos orgânicos e inorgânicos e suas formas solúveis e insolúveis.....	08
Tabela 3.2	-Porcentagem das espécies iônicas de fosfatos presentes em solução, em diferentes valores de pH.....	11
Tabela 3.3	-Tratamento água residuárias nos sistemas de terras úmidas.....	14
Tabela 3.4	-Funções das macrófitas nos Sistema de Terras úmidas.....	19
Tabela 3.5	-Datas e autores das descobertas dos bacteriófagos e indicação de suas bactérias hospedeiras.....	29
Tabela 3.6	-Trabalhos publicados a sobre remoção de organismos patogênicos no sistema de terras úmidas.....	34
Tabela 4.1	Distribuição dos substratos e das vegetações nos tanques do sistema de terras úmidas.....	36
Tabela 4.2	-Parâmetros analisados nas amostras de água do sistema “Terras Úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.....	48
Tabela 4.3	-Parâmetros analisados nas amostras de plantas do sistema “Terras Úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.....	49
Tabela 4.4	-Parâmetros analisados nas amostras de substrato do sistema “Terras úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.....	49
Tabela 5.1	-Potencial Hidrogeniônico nos deferentes tratamentos com <i>Typha spp</i> e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG.....	53
Tabela 5.2	-Concentrações médias mensais* (mg/l) e porcentagem de remoção do fósforo total (mg/l) nos diferentes tratamentos com <i>Typha ssp</i> e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG..	54
Tabela 5.3	-Concentrações médias mensais* (mg/l) e porcentagem de remoção do ortofosfato (mg/l) nos diferentes tratamentos com <i>Typha ssp</i> e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG..	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1	-Principais formas de fósforos orgânicos e inorgânicos e suas formas solúveis e insolúveis.....	08
Tabela 3.2	-Porcentagem das espécies iônicas de fosfatos presentes em solução, em diferentes valores de pH.....	11
Tabela 3.3	-Tratamento água residuárias nos sistemas de terras úmidas.....	14
Tabela 3.4	-Funções das macrófitas nos Sistema de Terras úmidas.....	19
Tabela 3.5	-Datas e autores das descobertas dos bacteriófagos e indicação de suas bactérias hospedeiras.....	29
Tabela 3.6	-Trabalhos publicados a sobre remoção de organismos patogênicos no sistema de terras úmidas.....	34
Tabela 4.1	Distribuição dos substratos e das vegetações nos tanques do sistema de terras úmidas.....	36
Tabela 4.2	-Parâmetros analisados nas amostras de água do sistema “Terras Úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.....	48
Tabela 4.3	-Parâmetros analisados nas amostras de plantas do sistema “Terras Úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.....	49
Tabela 4.4	-Parâmetros analisados nas amostras de substrato do sistema “Terras úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.....	49
Tabela 5.1	-Potencial Hidrogeniônico nos deferentes tratamentos com <i>Typha spp</i> e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG.....	53
Tabela 5.2	-Concentrações médias mensais* (mg/l) e porcentagem de remoção do fósforo total (mg/l) nos diferentes tratamentos com <i>Typha ssp</i> e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG..	54
Tabela 5.3	-Concentrações médias mensais* (mg/l) e porcentagem de remoção do ortofosfato (mg/l) nos diferentes tratamentos com <i>Typha ssp</i> e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG..	57

SUMMARY

Constructed wetlands systems are used for superficial polluted water and sewage purification through physical, chemical and biological process which occur naturally in the ecosystem and, in this way, reduce loadings of sediments, nutrients and pollutants to recipient lakes and rivers, improving the water quality. The used of these systems is increasing in all over the world, with different climates conditions. This work aimed the analysis of the performance of constructed wetland system, with subsurface runoff, in pilot scale, fed with water from a polluted creek. Total phosphorus, faecal coliforms (termotolerants) and coliphages (somatics -CS and F- specific - BF⁺) removals were evaluated during 9 months in the constructed wetland system cultivated with *Typha* spp. and rice (*Oriza sativa* L.) using gravel and sand as substrate media. The constructed wetlands system comprised 18 experimental tanks (250L each) with gravel (19mm - 9 tanks) and sand (other 9 reservoirs) having hydraulic retention time of 10 days. Three tanks with gravel were vegetated with *Typha* spp., other three with rice and three without vegetation were kept as control. The same distribution was made with the tanks with sand. The sand promoted better removals for coliforms, CS and CF⁺ with or without vegetation. The combination of gravel plus *Typha* spp. showed the highest removal for Total Phosphorus (53,24%). The removal of this parameter in the units with sand and gravel with rice after two rice collections were highest than the removals in the control tanks. Vegetated TUCs showed highest values of total phosphorus than controls TCs. The phosphorus distribution study showed that sand substrate cumulated three times more phosphorus than gravel substrate. The rice phytomass cumulated during both two growth cycles (4 months each) three times more phosphorus than *Typha* spp (one growth cycle - 9 months) without substrate influence (sand or gravel). The aerial part of the plants (rice and *Typha* leaves) showed fluctuations with faecal coliforms (termotolerants) contamination. The faecal contamination confirmed with *E.coli* levels was very low and the highest values of termotolerant coliform probably were of environmental origin.

RESUMO

O sistema de terras úmidas construída é utilizado para purificar as águas superficiais e as águas residuárias através de processos físicos, químicos e biológicos, amenizando a carga de sedimentos, nutrientes e outros poluentes nos corpos d'água receptores como açudes, lagos e rios. Este sistema vem ganhando popularidade nos diversos continentes com condições climáticas variadas, pois é uma alternativa sustentável de proteção dos recursos hídricos. O objetivo deste estudo foi avaliar o desempenho na redução de fósforo total e estudar a remoção de Colifágos Somáticos (CS) e Bacteriófagos F-específicos (BF⁺) em sistemas de terras úmidas construídas (TUC) de fluxo subsuperficial, com o cultivo de *Typha ssp* e arroz, considerando dois tipos de substratos: areia e brita. O sistema foi constituído de 18 (dezoito) tanques cilíndricos com capacidade de 250 litros. Nove tanques foram cheios, até 40cm de altura, com brita e os outros nove com areia. Os nove tanques com areia e os nove com brita foram divididos em grupos de três unidades: três para o cultivo da *Typha ssp*, três para arroz (*Oryza sativa L.*) e os últimos três foram usados como controle, sem vegetação. Nas terras úmidas com substrato de areia tiveram a maior eficiência de remoção no efluente com os parâmetros microbiológicos (coliformes termotolerantes, colifágos somáticos e bacteriófagos F-específicos). Houve remoções de fósforo total no efluente de todas terras úmidas construídas, mas a remoção foi maior nas TUCs com substrato de brita e cultivo de *Typha ssp* (53,24%). Entretanto, o tratamento do afluente nas TUCs vegetadas com *Typha ssp* tiveram valores de remoção superiores às TUCs que foram utilizadas como controles (sem nenhum tipo de vegetação). A percentagem de remoção, em ambas as colheitas (primeira e segunda) do arroz, com substrato de areia e brita, foram superiores as TUCs controles com leito de areia e brita. No substrato de areia e no substrato de brita a concentração de fósforo total sempre foi maior do que nas TUC, de controles, apesar de não serem diferentes estatisticamente das TUCs vegetadas. O substrato areia teve concentração de fósforo total três vezes maior em relação a concentração do substrato brita. O acúmulo de fósforo na fitomassa da planta do arroz nos dois ciclos foi três vezes mais do que a planta da *Typha ssp*, para os dois tipos de substratos. A contaminação fecal na parte aérea das plantas de arroz e de *Typha ssp*, cultivadas no sistema teve um alto nível de concentração de coliforme termotolerante, contudo a confirmação da contaminação fecal através *E. coli* foi baixa.

CAPITULO 1

INTRODUÇÃO

As relações entre o homem e o meio ambiente passam por profundas modificações em consequência do desenvolvimento científico e tecnológico. Esse desenvolvimento oferece oportunidades sem precedentes, contudo altera e molda o ambiente a fim de satisfazer as necessidades do homem e traz graves perigos ao meio ambiente e ao equilíbrio ecológico.

A poluição degrada as águas dos rios, lagos e mares, constituindo um desses perigos ao meio ambiente, pois a água é um elemento essencial à vida e a manutenção dos ecossistemas. O ser mais dependente da água é o homem, pois além de suprir as suas necessidades fisiológicas suas atividades estão relacionadas a ela (Souza e Leite, 2003).

A quantidade de água disponível na biosfera é constante e circula através do ciclo hidrológico formando nuvens e as chuvas, enchendo lagos e rios que deságuam no oceano, mas a sua disponibilidade em algumas regiões do planeta estão relacionadas a diversos problema sociais, políticos e econômicos; apontam para uma competição cada vez maior entre usos domésticos, industriais e agrícolas dos recursos hídricos, o que poderá contribuir para aumentar a necessidade destes recursos e, em consequência, agravar-se a atual crise de escassez (Salati, Lemos e Salati, 1999).

O crescimento real da população é um aspecto crítico do próprio desenvolvimento, pois à medida que esta aumenta também cresce os seus hábitos de consumo de água (Souza e Leite, 2003).

Na região nordeste do Brasil a predominância do clima semi-árido com chuvas irregulares e concentradas em poucos meses do ano dificultam o desenvolvimento econômico e social; devido a falta de gestão dos recursos hídricos ocasiona o êxodo rural e aumenta a aglomeração de pessoas nas cidades, causando problemas sociais e ambientais. A favelização sem estrutura de saneamento traz como resultado a deterioração da qualidade de vida e das águas superficiais.

Além disso, as águas superficiais estão sendo alvo das descargas contínuas de poluentes de origem antropogênica, principalmente as descargas de esgotos, que têm concentrações altas de nutrientes (P e N) que atingem os corpos d'água ocasionando um processo acelerado de eutrofização. Favorecem também a transmissão de doenças e veiculação hídrica causada por alguns vírus.

Desde o início do século passado se vêm procurando técnicas de tratamentos de águas residuárias que visem melhorar a qualidade antes de serem despejadas nos corpos de água receptores. Estas técnicas, para serem viáveis, devem ter baixo custo de implantação e ser de fácil operação e manutenção. O sistema de tratamento biológico denominado de terras úmidas construídas ou "wetlands construídas", que independentemente das condições climáticas tem demonstrado grande eficiência na remoção de poluentes, produzindo efluentes com qualidades adequadas ao padrão exigido e por ser uma tecnologia de baixo custo comparada com as tecnologias convencionais (lodo ativado, filtros biológicos, valas de oxidação, etc) (Reddy e D' Angelo, 1997; Ottová, Balcarová e Vymazal, 1997; Marques, 1999; Wetzel, 2000)

Este trabalho teve como objetivo estudar a remoção do fósforo total, em um sistema de terras úmidas construídas em escala piloto, onde foram usados dois tipos de substratos (areia e brita) e as macrófitas (*Typha ssp* e *Oryza sativa L.*). A remoção nos efluentes de coliformes termotolerantes, colifágos somáticos e bacteriófagos F-específicos também foram estudados juntamente com a contaminação microbiológica da parte aérea das plantas.

CAPITULO 2

OBJETIVOS

Geral

◆ Avaliar a remoção de formas de fósforo, coliformes termotolerantes e colifágos em um sistema de terras úmidas, bem como, a distribuição de fósforo nos compartimentos bióticos e abióticos desse sistema.

Específicos

◆ Analisar a remoção de fósforo total e ortofosfato nos efluentes das terras úmidas construídas com substrato de areia e substrato de brita vegetados com arroz (*Oryza sativa L.*) e com *Typha ssp.*

◆ Estudar a remoção de Coliformes Termotolerantes, Colifágos Somáticos e Bacteriófagos F-específicos nos sistemas, avaliando os objetivos dos diferentes tipos de substratos.

◆ Avaliar a contaminação fecal na parte aérea das plantas cultivadas neste sistema.

◆ Estimar a distribuição de fósforo total na fitomassa -parte aérea e raiz (componente biótico) e nos substratos (areia e brita) dos sistemas de terras úmidas construídas.

CAPÍTULO 3

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 – A Água

3.1.1 - Escassez de Água

O Brasil contém a maior reserva de água doce: pelo menos 8% da reserva mundial, sendo que 80% desta encontra-se na Amazônia e o restante, 20% concentram-se nas regiões onde vivem 95% da população brasileira, segundo a Agência Nacional de Águas (2002 apud Mancuso e Santos, 2003). Não é somente o Brasil que sofre com a má distribuição das águas, atualmente existem em torno de 26 países que abrigam 262 milhões de pessoas que se enquadram na categoria de áreas com escassez de água (Rebouças, Braga e Tundisi, 1999).

Um outro fator que contribui para a escassez de água é o aumento do consumo. Antigamente a humanidade era constituída por um número bem menor de pessoas e empregava a água apenas para beber, para cozinhar, para higiene pessoal e abastecia seus domicílios com o que podia transportar em recipientes provindos de poços ou riachos próximos. Hoje, o consumo per cápita, em média, é de 120 litros/pessoa nas regiões semi-áridas, e em países desenvolvidos como EUA o consumo é em torno de 500 litros/pessoa/dia, devido aos hábitos da vida moderna (utilização de máquinas de lavar roupa e de louça, irrigação de jardins, etc). Outras atividades que consomem muita água são a agricultura (cerca 70% do total disponibilizado) e a indústria, em torno 25% de toda a água distribuída (Branco, 1999).

Um problema sério que aumenta a escassez progressiva da água está associado a deterioração de sua qualidade pela poluição de origem antropogênica. Destas contribuições se destacam os esgotos não tratados ou mal tratados dispostos no meio ambiente e os riscos para a saúde da população, associados com as águas contaminadas (Branco, 1999).

3.1.2 – Reúso da Água

O “estresse de água” não ocorre apenas no nordeste do Brasil, pelo contrario, se estende por dezoito países no mundo. A disponibilidade por água doce é de apenas 1000 m³ per capita/ano e a escassez pode atingir ainda mais trinta países até o ano de 2025. Entretanto a dependência dos recursos hídricos pode ser minimizada mediante o gerenciamento dos mesmos, incluindo a utilização das águas servidas de forma eficiente e crescente para as atividades agrícolas, entre outras atividades (Salati, Lemos e Salati, 1999).

O reúso de águas é uma alternativa que não pode ser ignorada, devido à poluição causada pelos esgotos e a maior demanda de consumo de água. Numerosos países com escassez de água buscam o reúso das águas dos esgotos para finalidade que não necessitem empregar águas tratadas. A diferença entre as metodologias de tratamento de águas naturais ou brutas e dos esgotos é cada vez menor, doo ponto de vista técnico, por isso, estudos sobre a aplicação de esgotos tratados na agricultura, nas indústrias e na recarga de aquíferos, por exemplo, são cada vez mais avançados, facilitando o uso dessas práticas (Mancuso e Santos, 2003).

Os tipos de reúso podem ser considerados segundo a classificação da Organização Mundial da Saúde (1973):

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

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES) adotou a classificação dada por Westerhoff (1984), que reúne o reúso das águas em duas grandes categorias: potável e não potável, por praticidade e facilidade (Mancuso e Santos, 2003). Essa classificação é mostrada na Figura 3.1

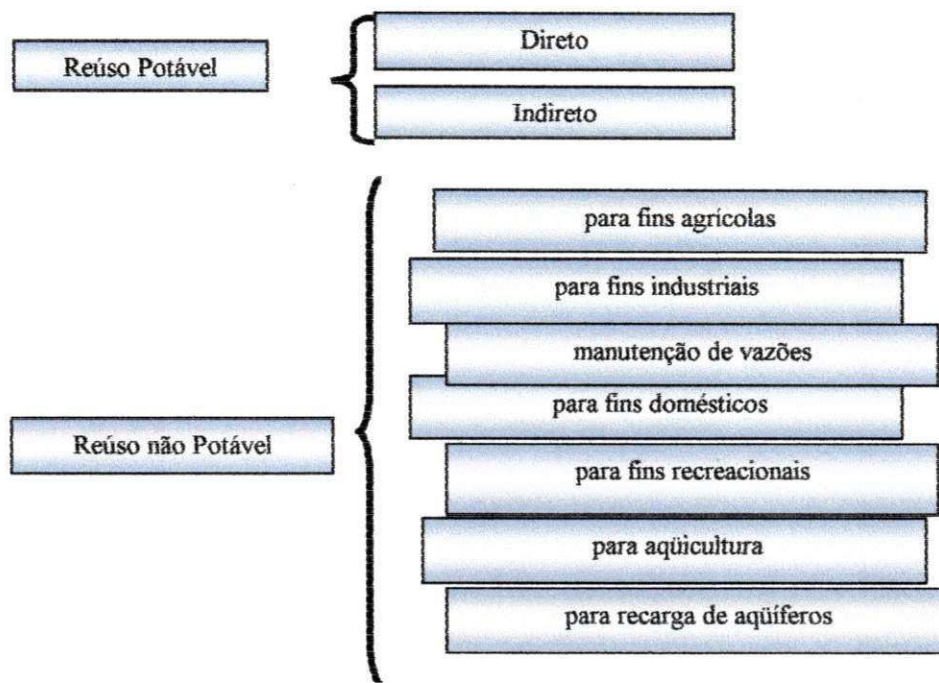


Figura 3.1 – Classificação do reúso da água adotada pela ABES, com base na classificação de Westerhoff (1984). Fonte: Mancuso e Santos, 2003.

3.1.3 - Eutrofização

O processo de eutrofização nos corpos d'água é caracterizado pelo aumento das taxas de crescimento da biota devido ao enriquecimento natural ou artificial dos corpos aquáticos, com nutrientes (formas de N e P), provocando um aumento da produtividade primária de forma acelerada em relação a que existiria se o sistema não tivesse sido perturbado (Wetzel, 1993).

A eutrofização ocorre de forma natural e artificial. Os corpos de aquáticos que sofrem eutrofização natural levam muito tempo para serem alterados, pois os nutrientes que recebem são os trazidos pelas chuvas e pelas águas superficiais (Esteves, 1999). No entanto o processo de eutrofização é bastante acelerado pelos despejos humanos (os esgotos); pelas águas residuárias industriais e pela descarga dos fertilizantes aplicados na agricultura, todos eles são ricos em fósforo. Esta eutrofização é definida como “cultural” (Tundisi, 2003).

A eutrofização cultural ou artificial favorece o desenvolvimento de cianobactérias e algas, que podem ser toxigênicas, e o crescimento de macrófitas como aguapé, que aceleram a evaporação da água (Tundisi, 2003; Salati, Lemos e Salati, 1999).

As plantas aquáticas são compostas geralmente de 0,7% do nitrogênio e 0,09% de fósforo em relação ao seu peso úmido. Estes são os primeiros elementos a serem fixados no

metabolismo. O fósforo, na maioria das vezes, torna-se um fator limitante no processo de eutrofização, enquanto que o nitrogênio encontra-se disponível a partir de várias fontes e podendo ser fixado, assimilado da atmosfera pelas cianobactérias na forma gasosa (N_2) (Tundisi, 2003; Branco, 1999).

A eutrofização causada pelos esgotos também ocasiona problemas de saúde pública ao favorecer a disseminação de microrganismos patogênicos presentes nas fezes de indivíduos doentes (**vírus** - hepatite, poliovírus, rotavírus, etc; **bactérias** - *Vibrio cholerae*, *Salmonella typhi*, *Shigella spp*, etc; **protozoários** - *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica*; **helmintos** - *Caenia spp*, *Ascaris lumbricoides*, *Schistosoma mansoni*, outros). A eutrofização referente à saúde humana, visto que numerosas doenças de veiculação hídrica são transmitidas pelos esgotos não tratados.

Em certas indústrias, o custo do tratamento de água eutrofizada pode impedir a sua instalação numa região (Tundisi, 2003), por outro lado, as águas residuárias adequadamente tratadas e mantendo seu conteúdo de nutrientes podem ser utilizadas para aquicultura ou para irrigação, desde que sejam empregadas de forma correta para não aumentar os riscos de saúde pública. Os efluentes das estações de tratamento de esgotos são uma alternativa para a redução substancial, ou mesmo eliminação da necessidade de fertilizantes comerciais na agricultura. Além dos nutrientes, a aplicação de esgotos proporciona a adição de matéria orgânica, que age como um condicionador do solo, aumentando a sua capacidade de reter água (Mancuso e Santos, 2003).

3.2- O Fósforo

3.2.1 - A Classificação

O fósforo, no geral, é classificado como fósforo orgânico e inorgânico. Na Tabela 3.1 encontra-se a classificação do fósforo orgânico e inorgânico de acordo com as formas solúveis e insolúveis.

Tabela 3.1 – Principais formas de fósforos orgânicos e inorgânicos e suas formas solúveis e insolúveis

Fosfatos	Formas Solúveis	Formas Insolúveis
Inorgânico	$H_2PO_4^-$, HPO_4^{2-} , PO_4^{3-} (ortofosfato)	Complexos fosfatos- argilas
	$FeHPO_4^+$ (monohidrogen fosfato férrico)	Complexos metal-hidrxidos
	$CaH_2PO_4^+$ (dihidrogen fosfato de cálcio)	Minerais e.g apatita ($Ca_{10}(OH)_2(PO_4)_6$)
Orgânico	Compostos orgânicos dissolvidos: fosfatases, fosfolipídios, inositol, fosfoproteínas, etc.	Fósforo complexado à matéria orgânica

Fonte: Esteves (1999).

Entretanto essa classificação é pouco aceita pelos químicos, pois não é acurada na questão fisioecológica, não distinguindo entre as formas solúveis e o fosfato assimilado pelos produtores primários. Segundo Esteves, (1999) a classificação mais prática é a seguinte:

- Fosfato Particulado;
- Fosfato Orgânico Dissolvido;
- Fosfato Inorgânico Dissolvido ou ortofosfato ou fosfato reativo;
- Fosfato Total Dissolvido;
- Fosfato Total.

O fósforo total na água não filtrada compreende ao fósforo particulado e ao da fase dissolvida. Segundo Wetzel, (1993) o fósforo particulado pode ser dividido em:

- (1) Fósforo presente nos seres vivos sob a forma de:
 - (a) ácidos nucleicos (DNA e RNA) relativamente estáveis e fosfo-proteínas, que não estão envolvidas no ciclo rápido do fósforo,
 - (b) ésteres de enzimas de baixo peso molecular, vitaminas;
 - (c) fosfatos de nucleotídeos, como o difosfato de adenosina (ADP) e o 5-trifosfato de adenosina (ATP) que é utilizado nos recursos bioquímicos da respiração e assimilação do CO_2 , entre outros passos metabólicos.
- (2) Fases minerais das rochas e do solo, como a hidroxiapatite, em que o fósforo se encontra adsorvido a complexos inorgânicos como argilas, carbonatos e hidróxidos de ferro;
- (3) Fósforo adsorvido à matéria orgânica particulada morta ou constituindo agregados orgânicos.

3.2.2- O Cielo do Fósforo

As fontes de fósforo nas águas podem ser naturais ou artificiais. O fósforo de origem natural ocorre dos minerais primários contidos nas rochas que formam parte da geologia da bacia de drenagem e sua liberação ocorre pela intemperização, sendo carregados pelas águas de escoamento superficial que podem alcançar diferentes ecossistemas aquáticos (APHA, 1995). A drenagem superficial contribui com fósforo em concentrações que variam de acordo com o tipo de solo, da topografia, da cobertura vegetal, da quantidade e da duração dos fluxos de escoamento, do uso que se faz da terra e da poluição (Wetzel, 1993).

O fósforo principalmente na forma de fosfatos de origem artificial tem suas fontes das águas residuárias residenciais, das estações de tratamentos de esgoto, da drenagem agrícola e das indústrias (APHA, 1995).

O fósforo aparece nas águas residuárias, além da forma de ortofosfato (PO_4^{3-}), como polifosfato (P_2O_7) e o fósforo orgânico (Metcalf & Eddy, 1991). A principal origem do fósforo nas águas residuárias domésticas são as excretas humanas (50-65%), que resultam da quebra metabólica das proteínas e da liberação dos fosfatos contidos nas fezes, na urina nos detergentes sintéticos (30-50%) (Horan, 1990). Os detergentes são constituídos por pirofosfato de sódio, tripolifosfato de sódio e outros. Os compostos de fósforo estão presentes na proporção de 70% a 80% da composição destes produtos (Sawyer, McCarty e Parkin, 1994).

Foi por volta de 1945 quando começou o desenvolvimento dos detergentes sintéticos, que ocorreu o aumento de 2 a 3 vezes mais na quantidade de fósforo inorgânico nos esgotos (Sawyer, McCarty e Parkin, 1994).

3.2.2.1 - A Relação do Fósforo com a Vida

O fósforo é um dos elementos essenciais à vida, pois participa como elemento fundamental das moléculas orgânicas: na síntese dos ácidos nucleicos (DNA e RNA) e nos fosfolípidios, componentes da membrana celular (Pelczar, Chan e Reid, 1996). O fósforo também está presente na estrutura da molécula da ATP, que é a principal transportadora de energia para as células. A forma de fósforo mais importante para a célula é íon fosfato (PO_4^{3-}) (Tortora *et al.*, 2000).

A presença do fósforo é essencial para o crescimento dos organismos e é um nutriente limitante na produtividade primária (Wetzel, 1993). Contudo o orto-fosfato tem a maior

relevância por ser a forma fósforo mais facilmente assimilada pelos seres vivos. Sua concentração na água depende da densidade e da atividade dos organismos, especialmente fitoplanctônicos e de macrófitas aquáticas, os quais, durante a fotossíntese, podem assimilar maiores ou menores quantidades destes íons (Esteves, 1999).

3.2.2.2 - Precipitação do Fósforo

Fatores físicos, químicos e físico-químicos interferem na precipitação das formas de fósforo nas águas, como: os íons de ferro, o alumínio, os sulfetos, os compostos orgânicos, os carbonatos e o pH.

O pH influencia na precipitação e nas condições de óxido-redução do fósforo. Pode também provocar a alteração da taxa de adsorção no efeito das atividades das enzimas nas células, na permeabilidade da membrana celular e através da modificação do grau de ionização do fosfato (Wetzel, 1993).

Os íons de ferro são os que mais interferem na precipitação do fosfato, pois estão relacionados diretamente com a concentração do oxigênio e o pH das águas. Nas águas onde o pH é próximo do neutro o íon ferro prevalece na forma de íon férrico (Fe^{+3} forma oxidada); com pH próximo de 3 torna-se solúvel e em condições menos ácidas encontra-se precipitado ou complexado na forma de hidróxido de ferro hidratado. (Esteves, 1999).

A Equação 3.1 mostra o íon férrico nas formas hidróxidos de ferro hidratado.



Em valores de pH abaixo 5, o alumínio e o manganês podem comportar-se de maneira semelhante ao ferro na remoção de fosfato e as argilas constituídas por ferro e alumínio, como a hematita e gipsita que tem alta capacidade de adsorção de fosfatos e polifosfatos (Esteves, 1999), pois a adsorção ocorre nas superfícies das partículas de argilas (Wetzel, 1993).

A presença de concentrações de cálcio e o aumento do pH interferem com a formação de hidroxiapatite $[Ca_5(OH)(PO_4)_3]$ na disponibilidade de fosfatos nas águas. Além disso, o aumento do pH leva à formação de carbonato de cálcio, o qual co-precipita o fosfato com os carbonatos (Sawyer, McCarty e Parkin, 1994).

A precipitação dos íons de fosfatos retiram o fósforo de circulação, de forma temporária ou definitiva, reduzindo sua concentração nas águas. Este processo já foi utilizado, onde

acrescentava-se fósforo às águas para precipitarem na forma de íons de fosfatos, servindo como controle a corrosão, nas caldeiras para evitar incrustações e para abrandar a estabilização do carbonato de cálcio, eliminando a necessidade de recarbonização (Esteves, 1999; Sawyer, McCarty e Parkin, 1994).

3.2.2.3 - A Presença de Fósforo nas Águas

O polifosfato e o fósforo orgânico compõem 70% do fósforo total no afluente, ou seja, dos esgotos que chegam as ETEs (Metcalf & Eddy, 1991); e o íon fosfato (ortofosfato) ainda pode ser encontrado sob diferentes espécies iônicas, dependendo do pH, Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Porcentagem das espécies iônicas de fosfatos presentes em solução, em diferentes valores de pH (segundo Thomas, 1974, modificado).

% de cada espécie iônica presente				
pH	H ₃ PO ₄	H ₂ PO ₄ ⁻	HPO ₄ ²⁻	PO ₄ ³⁻
4	0,9	99,0	0,2	7x10 ⁻¹⁰
5	0,1	98,0	2	7x10 ⁻⁸
6	8x10 ⁻³	82	18	6x10 ⁻⁶
7	3x10 ⁻⁴	33	67	2x10 ⁻⁴
8	4x10 ⁻⁶	3	97	2x10 ⁻³
9	5x10 ⁻⁸	0,5	99,5	2x10 ⁻²

Fonte: Esteves, 1999.

O impacto sobre o meio ambiente, pela presença de fósforo em águas residuárias conforme são destinadas, ocasiona a alteração dos corpos hídricos pelo processo de eutrofização.

Segundo Sawyer, McCarty e Parkin (1994) e Horan (1990), a concentração crítica de fósforo inorgânico, 0,005 mg P/l a 0,01mg P/l, a concentração evita o desenvolvimento exagerado de algas e macrófitas. Os valores de fósforo total encontrados nos esgotos brutos são de 5 à 10mg P/l (Haandel e Marais, 1999) e nos efluentes das Estações Tratamento de Esgotos (ETE), que tratam os esgotos domésticos pelos métodos biológicos convencionais (8 mg P/l) (Tundisi, 2003).

A redução dos nutrientes não ocorre de forma suficiente nas ETEs, e são necessários tratamentos terciários complementares. As instalações para um tratamento terciário, geralmente, tem custo de infra-estrutura e manutenção. Segundo Hammer (1979), o custo do

tratamento para a remoção de fósforo, se situa na faixa de 50 a 100% do custo do tratamento secundário.

3.3 – Tratamento e Reúso

A busca por sistemas de tratamentos para as águas poluídas tem sido intensamente estudada, ao longo dos anos, com o principal objetivo de diminuir os problemas causados pelas descargas de esgotos no meio ambiente, destinando-as para irrigação e para usos industriais. A transformação de água poluída em água tratada com padrão aceitável para fins específico, é uma forma de melhorar e aumentar as fontes de água para as necessidades humanas hoje e, no futuro, na busca do desenvolvimento sustentável. Entre os sistemas de tratamentos para águas poluídas, as “terras úmidas” ou “wetlands” vem se consolidando como alternativa tecnológica factível para vários climas e regiões do planeta, para atender a alguns dos objetivos do tratamento a custos baixos (World Commission on Environment and Development, 1990).

As terras úmidas têm um grande potencial depurador, principalmente na degradação de matéria orgânica, na remoção de nutrientes e microrganismos indicadores de contaminação fecal (Gopal, 1999).

3.4 – O Sistema de Terras Úmidas

Os ecossistemas denominados de terras úmidas são constituídos por vegetação, água e solo (Mdano, 2002); são áreas de terras inundadas por água de pouca profundidade, que servem de suporte para o crescimento de plantas emergentes ou não propicias à formação de colônias de microrganismos (Metcalf & Eddy, 1991).

Segundo Crites, (1994), as terras úmidas construídas e naturais são ecossistemas que têm suas áreas inundadas por longos períodos de tempo, que se caracterizam pela presença de água em pouca profundidade, de forma constante ou temporal (sazonal), sejam águas correntes ou paradas, doces ou salobros ou salinas, onde se desenvolve uma vegetação apropriada para esses ambientes; usualmente são consideradas como acolhedores de água descartada. Além disso, o descarte de águas ricas em material orgânico nas terras úmidas naturais é de intensificar a existência de um hábitat desertificado.

Estes sistemas são utilizados para purificar as águas superficiais e residuárias através de processos físicos, químicos e biológicos (Mdano, 2002), amenizando a carga de sedimentos,

nutrientes e poluentes em geral nos corpos d'água receptores como açudes, lagos e rios (Wetzel, 2000).

Segundo LaRiviere, Autenriethe e Bonner (2003), as terras úmidas são associações dos sistemas aquáticos e terrestres, que promovem vários benefícios através da estabilização e a filtração dos resíduos como nutrientes e metais que são capturados nas áreas de estoque de matéria orgânica.

O tratamento de águas com sistemas de terras úmidas são considerados como uma alternativa de baixo custo na minimização de contaminantes no efluente municipal, industrial e agrícola (Brix, 1997). As terras úmidas são excepcionais na capacidade de retenção, com pouco ou nenhuma manutenção do sistema e na maioria dos trabalhos com este sistema, confirmou-se a sua capacidade de descontaminação (Wetzel, 2000).

O tratamento está baseado num complexo ecossistema que usa energia solar para o crescimento vegetal, e tem a habilidade de tratar grande variedade de águas residuárias (domésticas, agrícolas e industriais), removendo contaminantes (DBO, SS, microrganismos patogênicos e metais) (Baptista *et al.*, 2002; Pastor *et al.*, 2002).

As diferenças entre os sistemas de terras úmidas são grandes devido às condições físicas, químicas e biológicas dos mesmos, que afeta a transformação e o transporte dos poluentes, ou seja, a eficiência do sistema de tratamento, (solo-planta-água) (Reddy e D'Angelo, 1997).

Os sistemas de terras úmidas podem ser naturais ou construídos (artificiais) e ambos têm sido usados no tratamento das águas residuárias (Metcalf & Eddy, 1991).

A diferença entre as terras úmidas construídas e as naturais é o controle que nestas últimas se tem sobre os parâmetros de projeto. Nas terras úmidas construídas (TUC) existe a uniformidade dos fluxos hidráulicos e a pouca profundidade, que podem ser melhores administrados à seleção do substrato para otimizar o movimento hidráulico e a padronização da espécie de macrófita, já que nas terras úmidas naturais a biodiversidade é muito grande (Gopal, 1999).

Este sistema (TUC) utiliza os mesmos princípios básicos dos mecanismos das terras úmidas naturais, podendo-se obter melhorias nas propriedades de remoção, na capacidade de degradação da matéria orgânica e na retenção de nutrientes (Marques, 1999).

Na Tabela 3.3 encontram-se alguns dos processos que ocorrem nos sistemas de terras úmidas no tratamento das águas residuárias.

Tabela 3.3 – Tratamento águas residuárias nos sistemas de terras úmidas

Processos	Funções
FÍSICOS	
Filtração	As águas passam através dos sistemas de raízes, das plantas e dos substratos onde partículas coloidais e outras são filtradas. Os rizomas abrem caminhos através do solo para o fluxo hidráulico.
Sedimentação	Floculação e decantação dos sólidos.
Adsorção	Adsorção dos sólidos coloidais e outros na superfície dos substratos.
QUÍMICOS	
Precipitação	Formação e precipitação de compostos insolúveis, com o CaPO_4 . A existência de Al, Fe ou Ca precipita o fósforo.
Adsorção	Oxidação e redução de compostos e sua adsorção no substrato.
BIOLÓGICO	
Metabolismo Bacteriano	Decomposição bacteriana de compostos orgânicos e nitrificação-desnitrificação (O principal mecanismo para a diminuição da DBO_5 e transformação de N)
Crescimento das Plantas	Para crescer, o vegetal absorver nutrientes (N, P, Fe, etc) presentes nas águas poluídas. Há necessidade de nutrientes e metais na planta (Tendo permanentemente a remoção da colheita).
Tempo de residência	Decaimento natural dos patogênicos e outros organismos, pelo processo de filtração lenta, adsorção e absorção.

Fonte: Wood & McAtamney (1996)

A eficiência de um projeto de terras úmidas construídas depende de diversas variáveis: desde os parâmetros de projeto (modelo, vazão, velocidade do fluxo, tipo de substrato, espécie de macrófita cultivada, tempo de detenção) até outras variáveis não controláveis como: a temperatura, a radiação solar, a precipitação pluviométrica, a concentração de nutrientes no afluente e a acumulação destes no sistema que pode causar sua saturação (King, Mitchell e Howes, 1997).

As diferenças entre os tipos de terras úmidas naturais, devido às suas características físicas, químicas e biológicas, têm dificultado o entendimento e a previsão de eficiência do sistema, (Drizo *et al.*, 1997). Entretanto estes sistemas são usados numa variedade de condições climáticas, desde regiões tropicais ao sub-ártico. A água e o solo são sensíveis às temperaturas ambientais, influenciam na produtividade e no processo da melhoria da qualidade do efluente (Kadlec, 2000).

3.4.1 - Tipos de Terras Úmidas Construídas

O uso de sistema de terras úmidas construídas no tratamento de águas poluídas é importante na recuperação de ambientes aquáticos, devido a fatores que influenciam no tratamento e na relação natural de vivência entre plantas e animais, pela estrutura diferenciada do habitat (Marques, 1999).

Estes sistemas são constituídos, basicamente, por bacias ou canais de pouca profundidade, com barreiras naturais ou construídas com fundo impermeabilizado para prevenir riscos de contaminação do lençol freático. Os solos a serem utilizados para a implantação de sistema de terras úmidas com escoamento superficial devem apresentar baixa permeabilidade (Marques, 1999).

Existem dois tipos básicos de terras úmidas construídas, que diferem pelo tipo de fluxo de águas: superficial e subsuperficial. O sistema de fluxo superficial é mais popular nos Estados Unidos da América, enquanto que o sistema de fluxo subsuperficial é mais aceito no continente Europeu, Austrália e na África do Sul.

Nas terras úmidas de fluxo superficial a carga de afluentes é colocada acima do substrato e, dessa forma, a superfície da água permanece exposta ao ambiente, havendo maior tendência à proliferação de moscas, mosquitos e outros insetos indesejáveis (Greenway, Dale e Chapman 2003).

Este sistema tem grande capacidade para remover matéria orgânica (DBO_5), sólidos totais suspensos e nutrientes, que ficam estocados na biomassa da planta (Zhu *et al.*, 1997; Green, Griffin e Seabridge, 1997). A vegetação é muito variada (espécies emergentes, flutuantes e submersas). A utilização deste tipo de sistema promove a melhoria das águas residuárias, no tratamento secundário, que envolve as habilidades especiais de filtração e oxidação, para remover muitos poluentes orgânicos (Greenway, Dale e Chapman, 2003).

A Figura 3.2 apresenta um esquema de terras úmidas construídas com fluxo superficial.

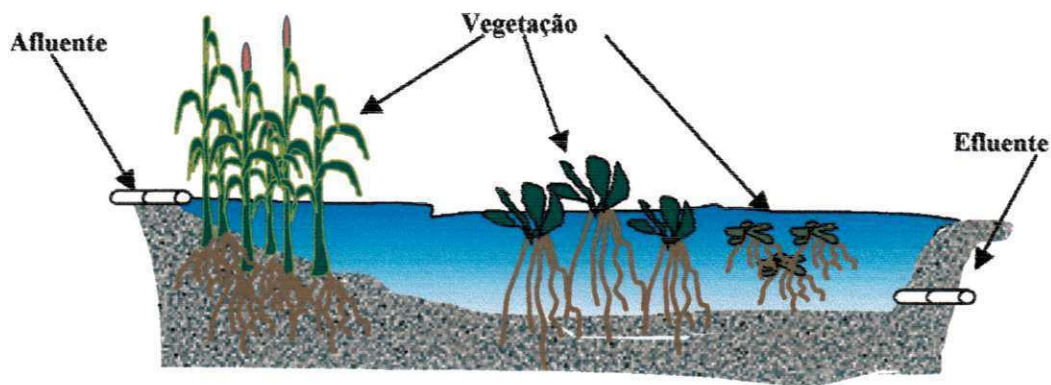


Figura 3.2 – O sistema de terras úmidas construídas com fluxo superficial

As terras úmidas construídas são projetadas com fluxo subsuperficial para manter o nível da água poluída a ser tratada, abaixo da superfície do substrato, que é constituído geralmente por material poroso, podendo ser de natureza orgânica ou inorgânica (p.ex: casca de arroz, areia, cascalho, brita, etc). Pelo fato de não ficar água na superfície, evita-se a proliferação de mosquitos e vetores em geral, assim como ausência de odores desagradáveis (Greenway, Dale e Chapman, 2003).

O sistema de terras úmidas construídas (TUC) pode ser classificado de acordo com a forma de alimentação, pois esta pode ser horizontal ou vertical. No primeiro, o escoamento ocorre através do sistema radicular das plantas, o qual funciona como filtro horizontal (Figura 3.2). Na alimentação vertical são mais propensos a problemas de infiltração/percolação, e se tornam mais lentos, podendo causar inundações na superfície e assim expor à atmosfera a água poluída que está sendo tratada (Vymazal, 1998).

Neste sistema o contato é direto da carga poluente, presente na água de alimentação, com o sistema radicular das plantas. As raízes e rizomas das plantas aquáticas emergentes, presas ao substrato, formam uma espécie de filtro ou malha para reter os materiais em suspensão das águas residuárias. Dependendo do grau de desenvolvimento alcançado pela planta e conseqüentemente do seu sistema radicular, este desempenhará funções depuradoras, mais ou menos eficientes (Brix, 1997; Marques, 1999).

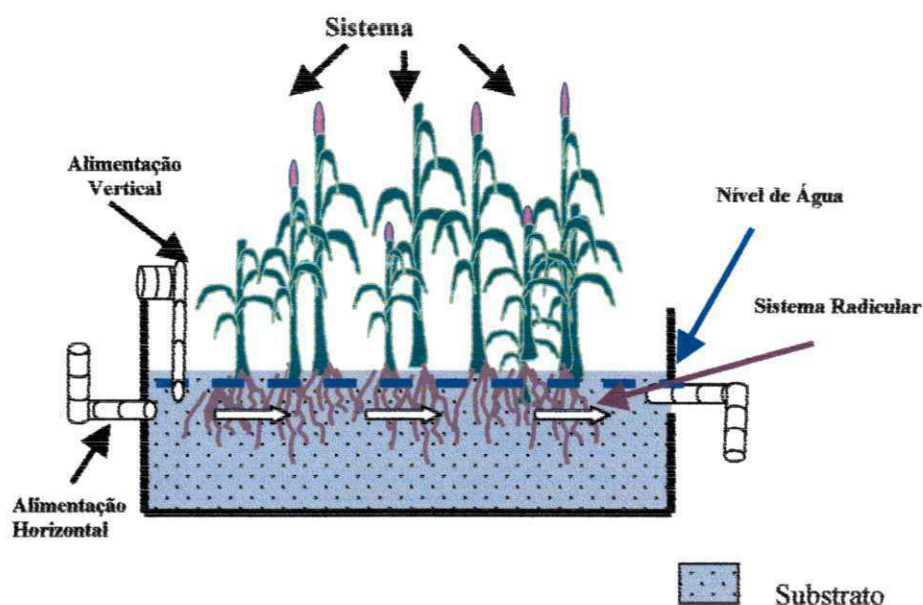


Figura 3.3 –Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial (apresentando as opções de alimentação)

Estes sistemas são mais eficientes em ambientes com altas temperaturas (climas tropicais e subtropicais) que não resfriam no inverno e onde o crescimento das plantas aquáticas ocorre continuamente (Zhu *et al.*, 1997).

3.4.2 - A Importância das Plantas no Sistema de Terras Úmidas

As plantas cultivadas nos sistemas de terras úmidas são vasculares. Formam-se também musgos e algumas variedades de algas, que são facilmente visíveis (Brix, Arias e Bubba, 2000).

As espécies vegetais mais empregadas nos sistemas de terras úmidas são as emergentes: *Typha spp*, *Phragmites*, *Juncus ingens* e *Schoenplectus validus*, enquanto que as espécies flutuantes mais frequentemente utilizadas são *Eichhornia crassipes*, *Juncus ingens* (aguapé), *Spirodela spp* (erva de pato), *Salvinia molesta* (salvinia) e *Hydrocotyle umbellata* (Sousa *et al.*, 2000).

A biodiversidade de plantas nestes sistemas regulam a regeneração da biota e a reciclagem dos nutrientes (Wetzel, 2000), além de permitir o desenvolvimento de grande diversidade de espécies.

As plantas têm como característica a adaptação ao solo em condições anaeróbias, entretanto durante o seu desenvolvimento ocorre a formação de espaços internos do tecido da

planta para o transporte de O_2 nas zonas das raízes. Dependendo da espécie de planta, estes espaços internos de ar podem ocupar cerca de 60% do tecido total, permitindo assim um maior transporte de oxigênio. O transporte de oxigênio nas zonas das raízes desempenha um importante papel na remoção da DBO_5 e NH_4^+ promovendo as reações de óxido-redução na rizosfera (Reddy e D'Angelo, 1997). A distribuição dos tipos de espécies das plantas aquáticas são governadas pela profundidade das águas (Greenway, Dale e Chapman, 2003).

As raízes da vegetação ajudam na ligação dos biofilmes microbianos, que auxiliam na filtração e na adsorção dos poluentes das águas residuárias, transferindo oxigênio para a coluna de água e controlando o crescimento de algas como também restringindo a penetração da luz solar (Brix, 1997; Metcalf & Eddy, 1991).

As macrófitas, nas terras úmidas construídas, têm várias propriedades em relação ao processo de tratamento, sendo um componente essencial no sistema. A maior importância das macrófitas no tratamento de águas residuárias é devido aos efeitos físicos que ocorrem com a presença dos vegetais: 1) contribuem na redução da velocidade da correnteza das águas, criando condições para a sedimentação de sólidos suspensos evitando re-suspensão devido à estabilização do solo, ocorrido pela densidade das raízes que dificultam a erosão (Brix, 1997); 2) os biofilmes microbianos aderidos às raízes decompõem a matéria orgânica presente nas águas poluídas, utiliza-a como fonte de energia e fonte de carbono à microbiota associada nos detritos, aos sedimentos e à planta. Parte da matéria orgânica está associada a estruturas químicas complexas e com tecidos estruturados com lignocelulose, que são decompostos e utilizados lentamente (Wetzel, 2000). Na Tabela 3.4 encontram-se as principais funções das macrófitas no sistema de terras úmidas, segundo Brix, (1997).

Tabela 3.4 – Funções das macrófitas nos Sistema de Terras úmidas

Propriedade das Macrófitas	Função no Processo de Tratamento no Sistema de Terras Úmidas
Tecido Aéreo da Planta	<ul style="list-style-type: none"> ● Redução do crescimento do fitoplâncton; ● Redução do contato do vento e com isto elimina a possibilidade de re-suspensão de nutrientes; ● Estabilização do microclima, durante o inverno; nos países de clima frio ● Aparência paisagística satisfatória; ● Estoque de nutrientes.
Tecido da Planta na Água	<ul style="list-style-type: none"> ● Efeito de filtração; ● Redução da velocidade da correnteza na água, aumentando assim as taxas de sedimentação; ● Área superficial apropriada com biofilme para o tratamento biológico; ● Aumento da degradação aeróbia com produção de oxigênio; ● Necessidade de nutrientes.
Raízes e Rizomas nos Sedimentos	<ul style="list-style-type: none"> ● Estabilização dos sedimentos evitando a erosão; ● Instrumento de prevenção na obstrução no sistema com fluxo vertical; ● Oxigênio incrementado na degradação (e nitrificação); ● Necessidade de nutrientes (adsorção de N,P,K,Ca, Mg,...); ● Liberação de antibióticos e outros produtos metabólicos com propriedades tóxicas.

Fonte: Brix, (1997)

3.4.3– As plantas Cultivadas no Sistema de Terras Úmidas

(a) *Typha spp*

A *Typha spp* é uma macrófita, que segundo Brandão (1975) é conhecida vulgarmente no Brasil como taboa e usada na confecção de esteiras, encontrada em ambos os hemisférios e em regiões temperadas e tropicais. É uma planta herbácea, perene, que cresce em brejos e alagadiços, possui caule com uma porção rizomatosa rastejante e outra ereta que transporta as folhas, sendo estas sésseis, lineares, longas e quase todas se inserem próximas à base (Figura 3.4).



Figura 3.4 - *Typha spp* cultivada no sistema de terras úmidas construídas na UFCG.

Segundo Sousa *et al.* (2000) a *Typha spp* encontra-se entre as macrófitas emergentes mais utilizadas no sistema de terras úmidas construídas. A *Typha spp* possui boa capacidade de retenção de fósforo de 1,0-5,0 mg-P/g nas folhas, de 1,9 mg-P/g nas raízes e de 2,7 mg-P/g nas rizomas, aproximadamente (Greenway, 1997).

(b) Arroz

O arroz (*Oryza sativa L.*) é uma herbácea, como a *Typha spp*, mas não é anual e pertence à família das Gramináceas, que são vegetais úteis e utilizados pelo homem para sua alimentação (Figura 3.5).



Figura 3.5 Arroz cultivado no sistema de terras úmidas construídas na UFCG

A planta é descrita como: erva ereta, robusta, de 1m ou mais de altura; folhas auriculadas na base e com lígula comprida multi-nervada, largas, ásperas, rígidas e ápice prolongado em ponta; flores em espiguetas muito compridas lateralmente e dispostas em panículas grandes, estreitas e com glumellas mais ou menos pubescentes e verde e frutos caryopse coriáceo, glabro ou pubescente (Pio Corrêa, 1984).

Existem provas históricas de que esta gramínea vem sendo cultivada há 5000 anos atrás, o que explica a existência da incalculável variedade. No Brasil a cultura é relativamente

recente tendo-se iniciado em meados do século XVII em Iguape, São Pulo, e começo do século XVIII no Maranhão (Pio Corrêa, 1984).

Na planta de arroz, a deficiência de fósforo provoca folhas verdes escuras com tons roxos e uma alta percentagem de grãos roxos. Segundo Malavolta, Vitti e Oliveira (1997), o fósforo, na cultura do arroz distribui-se da seguinte maneira: as raízes contém 3 mg-P/g, folhas 0,5 mg-P/g, grãos de 2,7 mg-P/g, na casca de 2 mg-P/g e nos colmos de 1,5 mg-P/g, aproximadamente.

3.5 – Remoção de Fósforo no Sistema de Terras Úmidas

Segundo DeBusk, Dleberg e Reddy (2000) os primeiros trabalhos que utilizaram o sistema de terras úmidas construídas para a remoção de fósforo das águas residuárias domésticas ocorreu na Florida, na década de 70 do século passado, e foram feitos em escala piloto. O interesse na remoção de fósforo nos efluentes das estações de tratamento das águas residuárias tem aumentado nas últimas décadas, pois a presença de fósforo nas águas receptoras é responsável pela eutrofização nos corpos aquáticos (Branco, 1999).

A capacidade de remoção de fósforo nas terras úmidas tende a ser alta, pois o fósforo sorvido pelo complexo de substrato/rizosfera-raiz/biofilme/planta, adsorve e absorve no biofilme que envolve o substrato pela precipitação química e pelas plantas que compõe o sistema (Comeau *et al.*, 2000; Drizo *et al.*, 2000; Mdano, 2002).

Os nutrientes ou poluentes durante o transporte da água são removidos, em grande parte, biologicamente mediante a necessidade do ecossistema. A retenção ocorre através da assimilação direta ou devido a alterações físicas nos locais de adsorção, nos sedimentos e nas partículas de detritos orgânicos (Wetzel, 2000).

A regulação da remoção do fósforo ocorre por processos abióticos e bióticos. Estes processos incluem: (i) a vegetação e os microrganismos; (ii) insignificante mineralização das plantas e sólidos orgânicos; (iii) sedimentação; (iv) adsorção e precipitação; (v) a troca de processos entre substrato e a coluna de água (Reddy e D'Angelo, 1997). Na Figura 3.6 é apresentado um esquema da transformação do fósforo, no solo e na água, em um sistema de terras úmidas de fluxo subsuperficial.

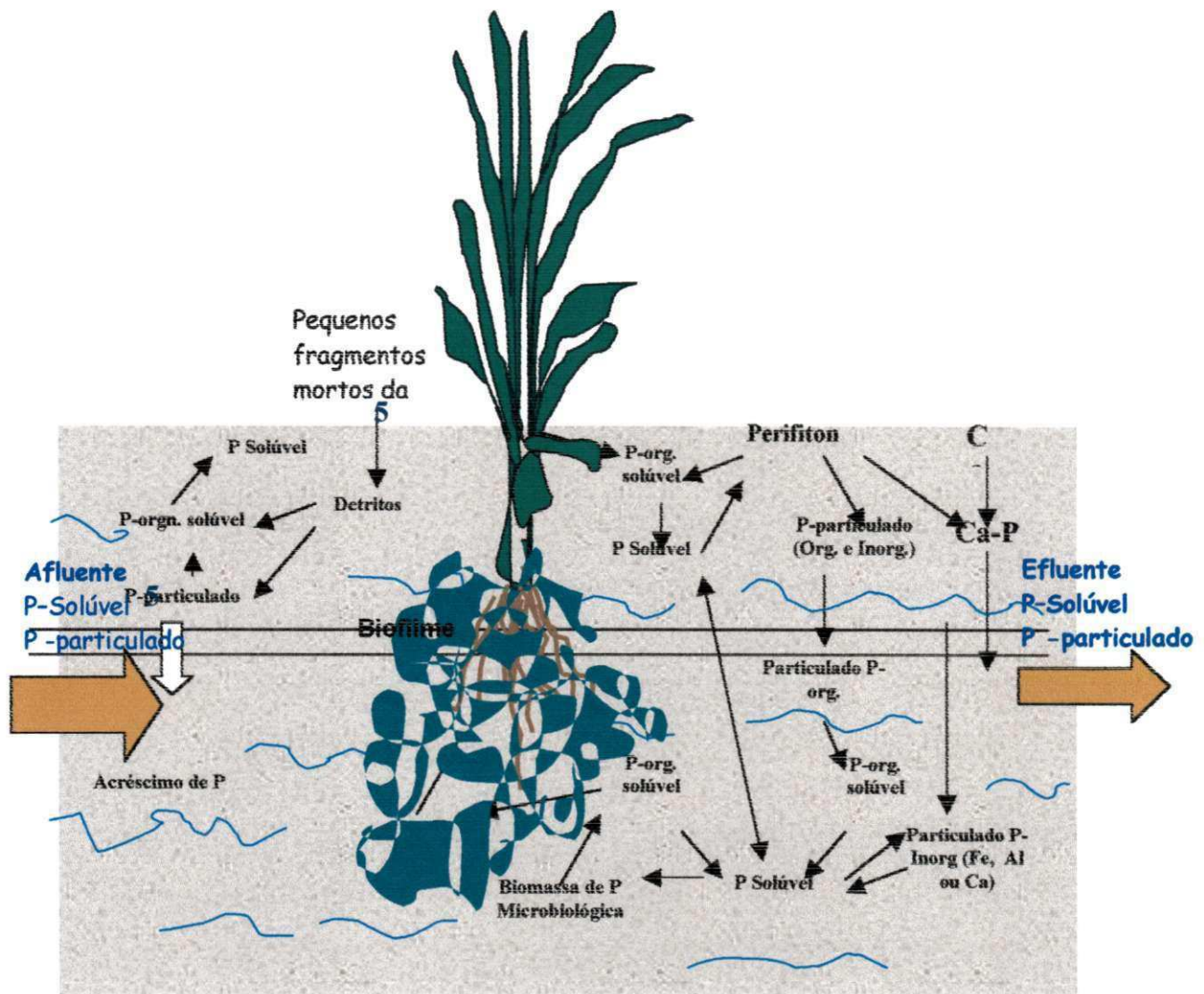


Figura 3.6 – Transformação do fósforo no substrato e na água de um sistema de terras úmidas. 1) Introdução de Pt e orto-P orgânico, inorgânico, solúvel e particulado; 2) adsorção e desorção, precipitação e dissolução; 3) absorção pelas raízes para a planta e absorção pelos microrganismos; 4) fragmentação, 5) mineralização; 6) sedimentação e enterro (Adaptado de Reddy e D'Angelo, 1997).

3.5.1 – Atuação das plantas na Remoção de Fósforo no Sistema de Terras Úmidas

As plantas utilizadas nas terras úmidas, naturais ou construídas, são de extrema importância no processo de remoção de nutrientes e de metais. O nutriente é conduzido através da planta para ser transformado e utilizado na produção de novas células para o crescimento, conseqüentemente os nutrientes estão diretamente relacionados com as taxas de crescimento (Kansiline e Brugen, 2000). Durante o crescimento e a reprodução da planta, as raízes são as primeiras a conduzirem o fósforo (Brix, 1997), que é absorvido pelas células

corticais das raízes e é transferido para as regiões de crescimento (as folhas). Esse movimento de fósforo na planta é conduzido pelas raízes, mesmo durante o processo de adsorção (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

A associação entre fungos e raízes da planta, as micorrizas, aumentam a superfície de exposição das raízes e com isso cresce a absorção dos elementos, principalmente de fósforo (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

Segundo Greenway, Dale e Chapman, (2003) a maximização na remoção de nitrogênio e do fósforo nas águas residuárias depende da seleção da macrófita, para o sistema de terras úmidas, pois esta deve ter alta capacidade de adsorção de nutrientes e de conversão para fósforo orgânico na biomassa da planta.

Originalmente as plantas removem os nutrientes diretamente dos sedimentos (substrato), contudo com o florescimento da planta a remoção ocorre também com o fósforo dissolvido na coluna de água (Greenway, Dale e Chapman, 2003). O elemento para ser absorvido pelas plantas deve estar inicialmente disponível e se apresentar solúvel na solução do solo; neste caso específico do fósforo o pH influencia na solubilidade e na presença de matéria orgânica.

Quando o fósforo favorece a precipitação a colheita da biomassa é de fundamental importância para estimular a ciclagem dos nutrientes principalmente do fósforo que não será adsorvido e nem volatilizado (Mdano, 2002). Contudo a taxa de remoção de nutrientes feitas pela biomassa é considerada a menor no tratamento das águas residuárias no sistema de TUC, cerca de 1% (Drizo *et al.*, 1997).

3.5.2 – Atuação do Substrato na Remoção de Fósforo no Sistema de Terras Úmidas

Segundo Brix (1997) o montante de fósforo removido pela biomassa da planta constitui uma fração insignificante daquela contida nas águas residuárias que abastecem o sistema de terras úmidas, sendo que a maior quantidade de fósforo removido fica no substrato (Brix, Arias e Bubba, 2000).

A retenção no substrato ocorre por dois mecanismos: adsorção e precipitação. A precipitação é uma consequência das reações com cálcio (Ca), alumínio (Al) e os íons de (Fe) nos substratos arenosos, cascalhos, brita, etc (Grüneberg e Kern, 2000; Brix, Arias e Bubba, 2000) e a adsorção ocorre sob o substrato e nas partículas dos sedimentos (Klm, 2000; Gruneberg e Kern, 2000). Então, para que as terras úmidas construídas tenham um bom desempenho, a escolha do substrato é de suma importância, pois uma seleção criteriosa intensifica a remoção do fósforo nas águas residuárias (Drizo *et al.*, 2000).

A capacidade de adsorção de fósforo pelo substrato está relacionada com as propriedades físicas e químicas do material (Zhu *et al.*, 1997; Drizo *et al.*, 2000), sendo que este deve possuir alguns minerais reativos como hidróxido de Fe e Al, pois a reação de precipitação com estes minerais é predominante, assim como os materiais calcáreos, que tem capacidade de retenção de fósforo. Portanto, a capacidade de remoção do fósforo depende dos constituintes minerais do substrato (Brix, Arias e Bubba, 2000).

Outro fator importante ao selecionar o substrato é sua granulometria, que deve ser de alta qualidade, pois proporciona uma área superficial maior e, portanto intensifica o potencial de adsorção de fósforo (Zhu *et al.*, 1997).

Klm e Geary (2000), relatam que o tipo do substrato tem impacto insignificante na remoção de sólidos suspensos, na remoção de orgânicos e na remoção de contaminantes importantes como amônia, fósforo e metais.

A habilidade de retenção de fósforo no sistema de terras úmidas é dependente das variações de cargas, que afetam o equilíbrio do sistema (Tanner *et al.*, 2000).

3.6 – Microrganismos Indicadores de Contaminação Fecal

As grandes epidemias ocorridas em meados do século XIX, trouxeram a preocupação da redução das enfermidades transmitidas por veiculação hídrica. Para avaliar as condições microbiológicas das águas destinadas ao consumo humano, era imprescindível definir microrganismos indicadores de contaminação fecal, visto que os esgotos domésticos transportam os microrganismos enteropatogênicos responsáveis por quadros diarreicos e febres entéricas (Ceballos, 2000).

Os microrganismos indicadores de contaminação fecal devem reunir um conjunto de características que possibilitam seu funcionamento como indicadores (Feachem, 1983):

- 1) ser constituintes normais da biota intestinal de indivíduos saudáveis;
- 2) estar presentes, de forma exclusiva, nas fezes de animais homeotérmicos;
- 3) estar em número mais elevado e apresentar igual ou maior resistência que os microrganismos patogênicos intestinais às condições ambientais e aos processos de tratamento;
- 4) serem incapazes de se reproduzir fora do intestino dos animais homeotérmicos;
- 5) devem ser de fácil quantificação;
- 6) não devem ser patogênicos.

Segundo Ceballos (2000), nenhuma bactéria ou microrganismo em geral reúne todas as características citadas para ser um indicador ideal, apenas certos organismos correspondem a propriedades acima citadas.

Exemplo disto são os coliformes, que têm servido como indicadores da presença de bactérias patogênicas de origem fecal, contudo não são ideais para serem indicadores dos vírus em águas de abastecimento e águas residuárias, pois existem diferenças entre as bactérias e vírus. Primeiro as bactérias são células e os vírus não. A segunda é que os coliformes não são bons indicadores de vírus entéricos, pois são diferenciados em tamanho e resistência (Funderburg e Sorber, 1983)

3.6.1 – Coliformes

Começaram a ser utilizados no início do século XX, como indicadores de contaminação fecal no meio ambiente, por estarem associados diretamente com a presença de fezes (APHA, 1995; Metcalf & Eddy, 1991).

A quantificação dos coliformes procura evidenciar a presença de microrganismos de origem entérica, presença de coliforme indica possível contaminação fecal na água que causa problemas de saúde nas pessoas que as utilizam (Branco, 1999).

Segundo Metcalf & Eddy (1991), no trato intestinal há uma população significativa de bactérias que formam o grupo dos coliformes. Cada indivíduo descarta cerca de 100 a 400 milhões de bactérias por dia nas suas fezes. A ausência destas bactérias num ambiente ou numa amostra poderia determinar que as águas do ambiente estão livres de organismos que produzem diarreia.

Existem situações nas quais os coliformes estiveram ausentes na água e houve casos de infecções intestinais associadas à água (Ceballos, 2000). Alguns coliformes são comumente encontrados em amostras de plantas e do solo que possuem em comum a bioquímica e atributos morfológicos (organismos gram-negativos e não esporulados) (Branco, 1999).

Os coliformes são classificados como coliformes totais e coliformes fecais ou termotolerantes:

- Coliformes Totais – são classificados como bacilos gram-negativos aeróbios e anaeróbios facultativos não esporulados, que fermentam a lactose com produção de ácido e gás depois da incubação durante 24-48 horas a 37°C (APHA, 1995).

- Coliformes Fecais - atualmente denominados de Termotolerantes – são um subgrupo dos coliformes totais que são capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 horas a uma temperatura de 44,5 - 45,5° C (Ceballos, 2000).

Os coliformes fecais não são, no geral, patogênicos. Como existem em grande número nas fezes, a sua presença na água indica que esta recebeu dejetos, podendo conter microrganismos patogênicos. Este subgrupo se diferencia, pois são tolerantes a temperaturas mais altas e por isso se denominam termotolerantes (Ceballos, 2000).

A princípio definiam-se os coliformes termotolerantes como sendo de origem exclusivo do trato gastrointestinal, e por isto foram denominados de coliformes fecais. Entretanto este grupo inclui pelo menos três gêneros, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella*, dos quais dois (*Enterobacter* e *Klebsiella*) não são de origem exclusivamente fecal (Silva, Junqueira e Silveira, 1997).

Por haver no grupo bactérias que não são de origem fecal, os coliformes termotolerantes tornam-se menos representativos como indicadores de contaminação fecal do que a enumeração direta da *Escherichia coli*, que é exclusiva das fezes de animais homeotérmicos (APHA, 1995).

A *E. coli* é um bastonete gram-negativo de 0,2 a 0,3µm, aeróbio ou anaeróbio, facultativo não esporulado que fermenta a lactose em 24-48 horas a 35-37° C e forma colônias azuladas com o meio de cultivo m-FC (APHA, 1995). Apresenta-se, nas fezes, com uma concentração de 10⁹ bactérias/gramas de fezes, e se encontra em todos os materiais com contaminação fecal recente como: águas residuárias, águas superficiais e subterrâneas, solos, lodos, alimentos e em superfícies em geral (Silva, Junqueira e Silveira, 1997).

Esta bactéria apresenta características bioquímicas, que facilitam a sua identificação: tem a capacidade de produzir indol e fermenta a glicose de forma simultânea, a 44,5° C; e pode ser determinada de forma rápida, devido à produção da enzima β- glucoronidasa, que é exclusiva da *E. coli*, sendo aparentemente a única do grupo dos coliformes que satisfaz todas as condições que se deve reunir um indicador de contaminação fecal (Ceballos, 2000).

3.6.2 – Os Bacteriófagos

No final do século XIX já se tinha conhecimento da existência de vírus de plantas e animais, mas a descoberta de vírus específicos para bactérias só foi feita em 1915, por dois trabalhos independentes, um na Inglaterra, por Frederick W. Twort, e outro na França, por

Félix D'Heréle. Estes pesquisadores observaram que as colônias bacterianas dissolviam-se e desapareciam, pois ocorria a lise ou rompimento das células. Então designaram o agente invisível (o vírus), que era filtrável, como bacteriófago (“comedor de bactérias”) (Pelczar, Chan e Krieg, 1991). Os bacteriófagos são vírus que infectam as células das bactérias hospedeiras (Iawprc Study Group, 1991).

Existem dois tipos de bacteriófagos (fagos líticos), que destroem as células hospedeiras bacterianas, no processo infeccioso de replicação do vírion, denominados de colifágos somáticos e colifágos ou fagos F-específicos. (Pelczar, Chan e Krieg, 1991).

Na Figura 3.7 apresenta o esquema do ciclo de replicação de um fago lítico em uma célula hospedeira bacteriana.

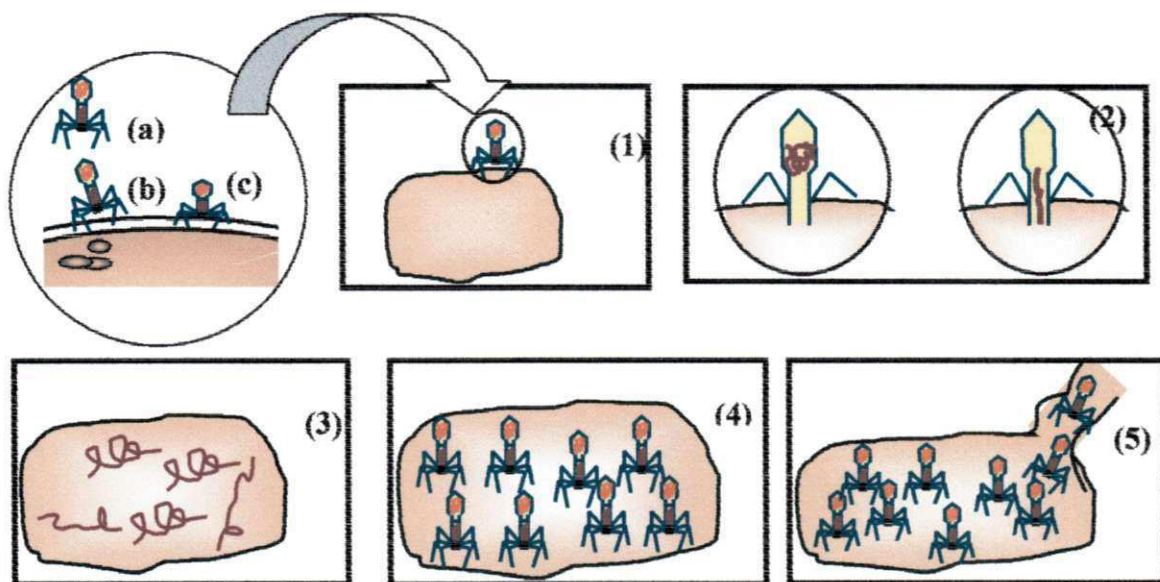


Figura 3.7 – Esquema do ciclo de replicação de um fago lítico. (1) Adsorção da partícula de fago na célula hospedeira - (a) Partícula de fago antes da fixação; (b) Contato com a parede da célula hospedeira; (c) Fixação na parede da célula hospedeira - (2) Penetração e injeção do ácido nucléico do fago - (3) Síntese de macromoléculas e das subunidades - (4) Maturação do vírus - (5) Liberação dos vírus, acompanhado da lise das células hospedeiras.

Os bacteriófagos são parasitas intracelulares obrigatórios, que infectam as células das bactérias hospedeiras para sua replicação (Iawprc Study Group, 1991). Depois de entrar em contato com a célula hospedeira, se reproduzem com rapidez e em menos de uma hora ocorre a lise bacteriana, liberando milhões de novos vírus que infectam novas bactérias.

A adsorção é uma etapa muito importante, pois influencia na eficiência da seletividade do método de quantificação. Alguns bacteriófagos têm um grupo restrito de bactérias hospedeiras como a *E. coli* (Iawprc Study Group, 1991).

A estrutura desses vírus consiste usualmente em uma molécula de ácido nucléico (genoma), que pode ser de DNA de fita única ou dupla, linear ou circular ou ainda de apenas uma fita única de RNA. Este genoma está envolvido por uma capa protéica (capsídeo) (Pelczar, Chan e Krieg, 1991).

Bradley (1967) descreveu seis tipos morfológicos de fagos, que incluem fagos com cauda contrátil ou não contrátil, longa e curta, com simetria cúbica, com DNA ou RNA e fagos filamentosos. Esta classificação foi amplamente aceita, sendo atualmente utilizada. Os bacteriófagos são divididos em seis famílias principais: *Myoviridae*, *Styloviridae*, *Podoviridae*, *Microviridae*, *Inoviridae* e *Leviviridae* (Lawrence Study Group, 1991). A Figura 3.8 apresenta alguns tipos morfológicos de fagos.

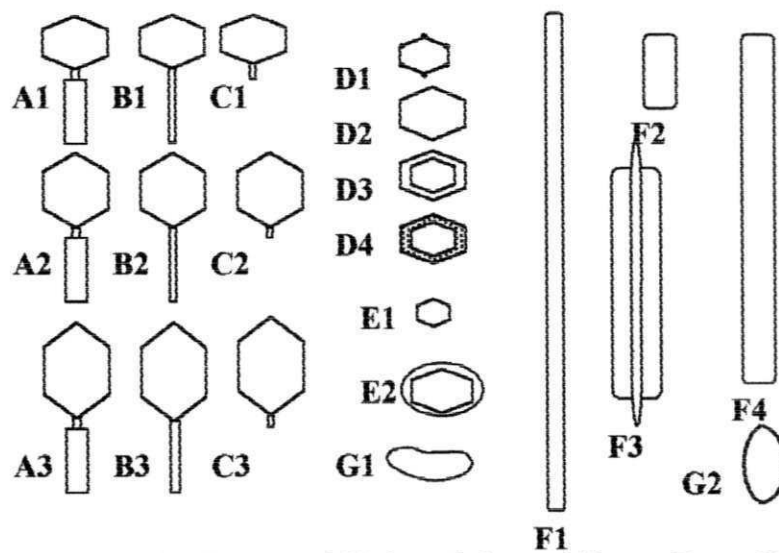


Figura 3.8 - Esquema dos tipos morfológicos de bacteriófagos. Fonte: Val (1997).

Diferente espécie de bacteriófagos foi detectada, em diversas cepas bacterianas hospedeiras. Essas descobertas estão apresentadas na Tabela 3.5 juntamente com os pesquisadores e o ano da realização do trabalho.

Tabela 3.5 – Datas e autores das Descobertas dos Bacteriófagos e suas bactérias hospedeiras

Ano	Pesquisador	Bactéria
1915	Twort	<i>Staphylococcus sp</i>
1917	d'Heréle	<i>Shigella dysenteriae</i>
1918	d'Heréle	<i>Salmonella typhi</i>
1921	d'Heréle	<i>Bacillus subtilis</i> <i>C. diphtheriae</i> <i>Escherichia coli</i> <i>Pasteurella multocida</i> <i>Vibrio cholerae</i> <i>Yersinia pestis</i>
1922	Eichhoff	<i>Streptococcus sp</i>
1923	Hauduroy & Peyre	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>
1926	Pfalz	<i>Neisseri meningitis</i>
1928	Anderson	<i>Xanthomonas prini</i>
1934	Cowles	<i>Clostridium smegmatis</i>
1947	Gadner & Weiser	<i>Mycobacterium smegmatis</i>
	Reilly et alii	<i>Streptomyces griseus</i>
1963	Safferman & Morris	<i>Plectonema boryanum</i>
1970	Gourlay	<i>Acholeplasma laidlawii</i>

Fonte: Pedroso, (1993).

A importância dos fagos como indicadores de poluição fecal foi reconhecida somente em 1966 por Kott que sugeriu a avaliação da poluição da água do mar, ocasionada pelos esgotos, através da análise de bacteriófagos que infectavam cepas de *E. coli B*. Numerosos trabalhos foram realizados com o objetivo de avaliar a validade dos colifágos como indicadores de poluição fecal, nas amostras d'água de diferentes origens; usando cepas hospedeiras diferentes, a fim de saber com maior segurança, se podem ser usados como indicadores de vírus patogênicos no ambiente (Lawprc Study Group, 1991).

3.6.2.1 - Classificação e Ecologia dos Bacteriófagos (Colifágos Somáticos e Bacteriófagos F-específicos)

(a) Classificação

Os colifágos fazem parte do grupo dos bacteriófagos, mas são parasitas específicos da *Escherichia coli* (Kott, 1992). Eles são classificados de acordo com o local de adsorção na célula hospedeira, em: (1) colifágos somáticos, que adsorvem aos receptores situados na

parede celular (receptores somáticos) e (2) bacteriófagos F-específicos, que adsorvem especificamente ao pili F bacteriano ou pili sexual.

Certos bacteriófagos, como os colifágos somáticos, podem ser uma alternativa de indicador do vírus entéricos, pois são facilmente enumerados e detectados nos efluentes das águas de esgotos (Debartolomeis e Cabelli, 1991) e tem algumas informações básicas sobre a sua ecologia, que em particular é semelhante a de alguns vírus entéricos humano (Iawprc Study Group, 1991).

Um outro fago que pode ser utilizado como indicador é o bacteriófago F macho-específico pertencente ao um grupo filamentosos, com uma simples fita de DNA. Este fago se fixa ao pili sexual, que codifica dados de um gene F no plasmídeo. O pili F é produzido em um número limitado de *E. coli* no meio ambiente aquático (Lyons, 1981; Shaw, 1981).

Os fagos F-específicos são extremamente resistentes à cloração, dando um maior suporte para o seu uso como modelo de vírus patogênico (Keswick *et al.*, 1985).

Segundo Debartolomeis e Cabelli (1991), a espécie hospedeira *E. coli* HS(pFamp)R do bacteriófago F-específico é um mutante que foi selecionado como hospedeira específica para a montagem da técnica de quantificação por causa de sua resistência aos colifágos somáticos T2 e T4 e aos antibióticos ampicilina, estreptomicina e ácido naldíxico.

Os colifágos somáticos pertencem às famílias *Myoviridae*, *Siphoviridae*, *Podoviridae* e *Microviridae*, enquanto que os bacteriófagos F-específicos estão nas famílias *Leviviridae* e *Inoviridae* (Iawprc Study Group, 1991).

(b) Ecologia

Os colifágos são normalmente detectados em fezes humanas, bovinos, suínos, galináceos e outros animais segundo Dhillon *et al.*, (1976); Osawa, Furuse e watanabe., (1981); Havelaar *et al.*, (1990). Nas fezes humanas, estes vírus foram encontrados em pequenos números ($< 10^3$ unidades formadoras de placa (UFP/ml)), sendo encontrados com maior frequência em pacientes com doença sistêmicas do que em indivíduos saudáveis (Furuse *et al.*, 1983 *apud* IAWPRC, 1991).

O número de colifágos somáticos detectados num trabalho com esgoto doméstico em Hong Kong, foi entre 36 e $1,6 \times 10^4$ UFP/ml sendo que nas áreas urbanas apresentaram contagens mais elevadas do que nas rurais. Variações similares foram relatadas por autores de outros países (Ignazzitto *et al.*, 1980; Furuse *et al.*, 1981; Havelaar e Hogeboom., 1984).

Os fagos F-específicos foram detectados em fezes de diversos animais de sangue quente como: suínos por Dhillon *et al.*, 1976 e Havelaar, Furuse e Hogeboom *et al.*, 1986, eqüinos por Osawa *et al.*, 1981, ovinos por Havelaar, Furuse e Hogeboom., 1986, aves por Havelaar *et al.*, 1986 e Havelaar *et al.*, 1990.

O “Iawprc Study Group” (1991), numa ampla revisão, registrou contagens em águas de esgotos domésticos/industrial de 10^3 - 10^4 UFP/100ml em períodos de seca. Resultados similares foram encontrados em águas de esgotos de hospitais. Por outro lado, há relativamente poucos dados publicados sobre a ocorrência de fagos F-específicos em águas poluídas. Foram encontrados números mais elevados desses fagos, nos meses de inverno, em águas fluviais nos Países Baixos, comportamento esse paralelo ao vírus entéricos cultiváveis. Esses fagos não foram detectados em águas não poluídas.

3.6.2.2 – Uso dos Bacteriófagos como Organismos Indicadores de Contaminação Fecal

Os primeiros trabalhos focalizaram a detecção de poluição fecal através de bactérias como os coliformes, estreptococos e clostrideos, mais sensíveis ao processo de desinfecção (cloração) do que alguns vírus intestinais humanos como o vírus da poliomielite (Debartolomeis e Cabelli, 1991). Dados da Organização Mundial da Saúde (WHO, 1992) apresentam a ocorrência de aproximadamente 125 milhões de casos anuais de gastroenterites virais, com 4 a 5 milhões de mortes.

No Brasil, a portaria de Nº 36/GM (1990) do Ministério da Saúde definiu o emprego de bactérias do grupo dos coliformes (totais e fecais) como indicador da qualidade sanitária de águas brutas e tratadas, utilizada até o ano de 2000. Entretanto a portaria Nº 1469 (2000) assimcomo a nova Portaria de N º 518/2004 do Ministério da Saúde utiliza os coliformes fecais (desde então denominados como “termotolerantes”), a *Escherichia coli*, e ainda recomenda a inclusão de pesquisas sobre cistos de microrganismos patogênicos, para atingir a ausência de enterovírus, cistos de *Giardia spp* e cistos de *Cryptosporidium*, dentre outros.

Existe uma grande variedade de vírus do trato intestinal humano, que são descritos como “vírus entéricos” presentes nas águas poluídas com esgotos e os bacteriófagos podem ser usados como modelos de indicadores viróticos (Iawprc Study Group, 1991).

Os bacteriófagos atendem também a alguns critérios tradicionalmente requeridos que os possibilitam de serem organismos indicadores: (i) ecologia similar dos vírus patogênicos; (ii) possuem resistência similar aos patogênicos e (iii) há uma metodologia laboratorial simples para a identificação e quantificação.

A qualidade das águas para uso humano é classificada de acordo com a quantidade de coliformes; entretanto ainda há o risco de diarreias virais (Berg, 1978), pois certos vírus humanos (*poliovirus*, *coxsackievirus*) sobrevivem mais que os coliformes ao processo de desinfecção por cloração da água (Debartolomeis e Cabelli, 1991).

A utilização dos bacteriófagos como indicadores possibilita a estimação da capacidade viral de sobreviver na rede de esgoto e analisar a sua redução nos processos de tratamento e desinfecção (IAWPRC, 1991).

3.7 – Remoção de Patogênicos no Sistema de Terras Úmidas

O sistema de terras úmidas construídas apresenta mecanismos eficientes na remoção de organismos patogênicos, presentes nas águas residuárias (Stott *et al.* 2002).

Vários processos estão envolvidos na remoção de microrganismos patogênicos e parasitas; baseiam-se em processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem no sistema. Os fatores físicos incluem filtração, sedimentação e agregação. Os mecanismos biológicos incluem a produção de antibióticos, ingestão pelos nematóides e protozoários, lise das bactérias, ataque por bacteriófagos e morte natural. Os fatores químicos são: a oxidação, sorção e a exposição a tóxicos dos microrganismos (Ottová, Bacoravá e Vymazal, 1997).

Nos sistema de terras úmidas com fluxo subsuperficial a temperatura, radiação solar e a filtração através das raízes e do biofilme são consideradas como os fatores mais significativos na remoção de coliformes; contudo, em sistemas de terras úmidas de fluxo subsuperficial, a aeração e a hidráulica do fluxo são significantes (Zhu *et al.*, 2003).

Segundo Barrett *et al.*, (2000) as terras úmidas são capazes de reduzirem significativamente os coliformes totais e termotolerantes, enterococos, *C. perfringens*, colifagos somáticos e bacteriófagos F-específicos das águas de esgotos.

Esta capacidade de redução se deve ao grande papel desempenhado pelos vegetais (hidrófitas), pois intensificam a remoção de bactérias e vírus no sistema de terras úmidas (Brix,1997). Segundo Zhu *et al.*, (2003) a densidade populacional do coliforme termotolerante é maior no biofilme das rizosferas (2×10^4 UFC/cm²) comparada com a do biofilme do substrato (de pedregulhos) ($5,7 \times 10^3$ UFC/cm²) indicando que o vegetal auxilia mais na adsorção de bactérias com a ação do biofilme que intensifica a remoção.

Vários estudos têm sido realizados sobre a remoção de microrganismos patogênicos em sistemas de terras úmidas como os trabalhos Green, Griffin e Seabridge (1997); Ottavá, Balcóravá e Vymazal (1997), Worrall, Pederdy e Millet (1990); Barret *et al.* (2000), Hil e

Sobsey (2000); Karpiscak *et al.* (2000); Kansiline e Bruggen (2000); Vymazal, Sladeczek e Stach (2000) e Stott *et al.* (2003), entre os mais recentes.

Na Tabela 3.6 encontram-se alguns trabalhos realizados na intenção de promover a remoção de microrganismos patogênicos das águas residuárias utilizando o sistema de terras úmidas.

Tabela 3.6 - Trabalhos publicados sobre remoção de organismos patogênicos em sistemas de terras úmidas

Autores	Sistemas de terras úmidas	Vegetação	Remoção	
Green, Griffin e Seabridge, 1997	Fluxo superficial	<i>Phragmites australis</i>	O número de <i>E. coli</i> não excedeu os 1000 UFC/100ml e coliformes totais foi de 5000 UFC/100ml	
Ottová, Balcoravá, Vymazal 1997	Fluxo subsuperficial	<i>Glyceria</i>	Coliformes Fecais	Enterobactérias
	Doksy		98,9%	97,0%
	Onsov		98,6%	93,2%
	Ondrejou		98,5%	99,5%
	Kolodeje		99,9%	98,0%
	Chmelma	<i>Phalaris</i>	95,3%	94,7%
Worrall, Pederdy e Millet., 1997	Fluxo subsuperficial	variado	Coliformes Fecais 95%	
Barrett <i>et al.</i> , 2000	Fluxo subsuperficial Vertical	<i>Juncus effusus</i>	Coliformes Fecais	80%
			Colifágos Somáticos	90%
	Bact. F-específicos	83%		
Fluxo subsuperficial Horizontal	<i>Scirpus valipus</i>	Coliformes Fecais	87%	
		Colifágos Somáticos	87%	
		Bact. F-específicos	90%	
Hill e Sobsey, 2000	Fluxo superficial	<i>Sparganium americanum</i>	Coliformes Fecais	90%
			Colifágos Somáticos	99%
			Bact. F-específicos	98%
			<i>E. coli</i>	90%
			Salmonela	70%
	Fluxo subsuperficial	Sem vegetação	Coliformes Fecais	98%
			Salmonela	80%
Karpiscak <i>et al.</i> , 2000	Um dos componentes do sistema de tratamento é uma terra úmida	Não citada	Coliformes Fecais	13,2%
			Colifágos Somáticos	80%
			Enterocistos	73,8%
			<i>Clostridium perfringens</i>	31,7 %
Kansiline e Bruggen, 2000	Natural	<i>Cyperus papyrus</i>	Coliformes Fecais 78 a 92%	
		<i>Miscanthidium violacuum</i>	Coliformes Fecais 54 a 69%	
Stenström e Carlandes, 2000	Construída de fluxo superficial	<i>Lemha sp</i> , <i>Pctamogeton sp</i> <i>Alisma plantag</i>	Coliformes Fecais	97%
			Colifágos Somáticos	70%
Vymazal, Sladeczek e Stach, 2000	Construída de fluxo subsuperficial	<i>Phragmites australis e Phalaris arundinacea</i>	Coliformes Totais 99%	
			Estreptococos 99,8%	
Stott <i>et al.</i> , 2003	Construída, de fluxo subsuperficial	<i>Glyceria</i>	Coliformes Fecais	Colifágos Somáticos
	México	<i>Typha</i>	99,73%	-
	Egito	<i>Papyrus</i>	99,93%	99,7%
	Reino Unido		98,9%	100%

Fonte: Water Science & Technology

CAPITULO 4

MATERIAL E MÉTODOS

4.1 – Descrição do Sistema de Terras Úmidas Construídas

O sistema foi construído numa área próxima a um córrego que atravessa na direção leste-oeste a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), situada em Campina Grande, Estado da Paraíba, a 550m acima do nível do mar ($7^{\circ} 13'11''S$, $35^{\circ} 52'1W$) (Figura 4.1). A água usada para alimentar o sistema foi do córrego que é formado por águas de drenagem urbana contaminadas com esgotos domésticos.



Fonte: Meira

Figura 4.1 - Sistema TUCs instalado próximo ao córrego que atravessa a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

O sistema esteve constituído por 18 (dezoito) tanques cilíndricos, fabricados em cimento e amianto, com capacidade de 250 litros. Nove tanques foram cheios, até 40cm de altura, com brita e os outros nove tanques com areia. Os nove tanques com areia e os nove tanques com brita foram divididos em grupos de três unidades: três para o cultivo da *Typha spp*, três para arroz (*Oryza sativa L.*) e os últimos três foram usados como controle, sem vegetação.

Na Tabela 4.1 pode-se observar a distribuição dos substratos e das vegetações no sistema, subdividido em três séries, com três repetições para os dois tipos de vegetação (arroz e *Typha spp*) e para os substratos, (areia e brita).

Tabela 4.1 – Distribuição dos substratos e das vegetações nos tanques do sistema de terras úmidas

Nº dos Tanques	Substratos	Vegetação	Terras Úmidas Construídas	Nomenclatura para cada Tanque
1	Areia	-	Controle de Areia	A1
2	Areia	-	Controle de Areia	A2
3	Areia	-	Controle de Areia	A3
4	Areia	Arroz	Areia e Arroz	AA1
5	Areia	Arroz	Areia e Arroz	AA2
6	Areia	Arroz	Areia e Arroz	AA3
7	Areia	<i>Typha spp</i>	Areia e <i>Typha spp</i>	AT1
8	Areia	<i>Typha spp</i>	Areia e <i>Typha spp</i>	AT2
9	Areia	<i>Typha spp</i>	Areia e <i>Typha spp</i>	AT3
10	Brita	-	Controle de Brita	B1
11	Brita	-	Controle de Brita	B2
12	Brita	-	Controle de Brita	B3
13	Brita	Arroz	Brita e Arroz	BA1
14	Brita	Arroz	Brita e Arroz	BA2
15	Brita	Arroz	Brita e Arroz	BA3
16	Brita	<i>Typha spp</i>	Brita e <i>Typha spp</i>	BT1
17	Brita	<i>Typha spp</i>	Brita e <i>Typha spp</i>	BT2
18	Brita	<i>Typha spp</i>	Brita e <i>Typha spp</i>	BT3

A Figura 4.2 apresenta um esquema simplificado do sistema Terras Úmidas Construídas (TUC) com as plantações, os substratos e os tanques controles.

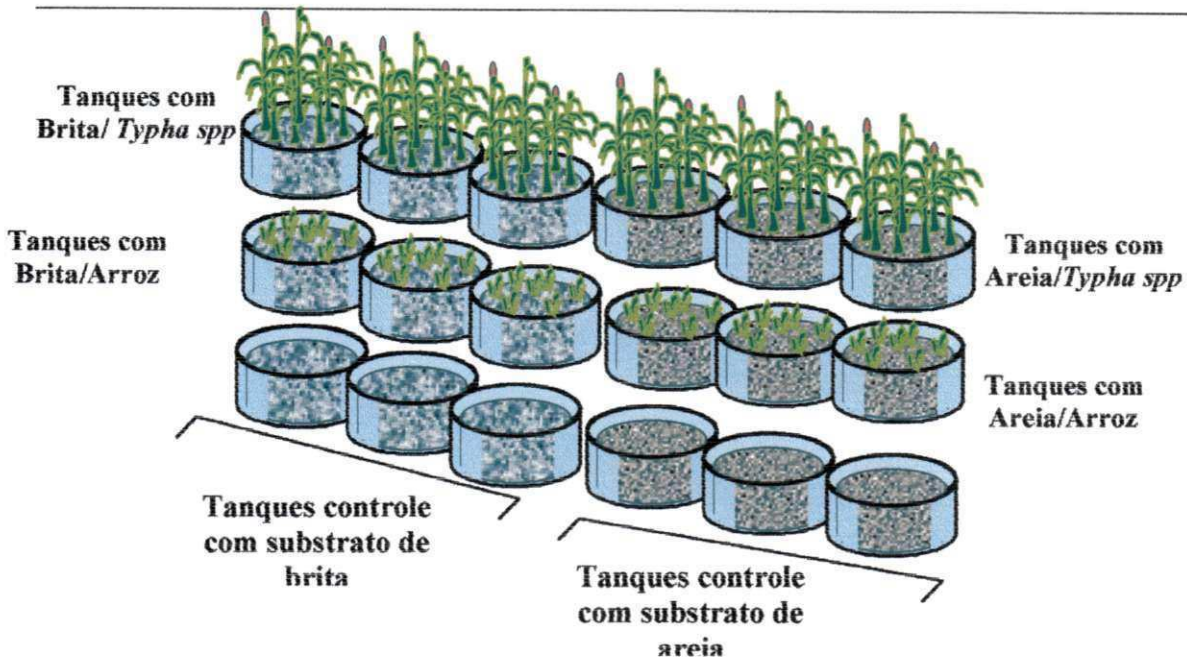


Figura 4.2 – Esquema simplificado do sistema de terra úmida experimental construída na UFCG/PB, destacando-se a distribuição dos diferentes tratamentos (substrato + vegetação) para água residuária.

A Figura 4.3 apresenta o sistema de TUC com os cultivos de *Typha spp* e arroz, no campo experimental da UFCG. Neste experimento o tempo de detenção hidráulica foi de 10 dias.



Figura 4.3 – Sistema de terras úmidas construídas no campo experimental da UFCG.

4.2 – Descrição Detalhada do Sistema e de sua Alimentação

Na Figura 4.4 mostra a descrição detalhada com o fluxo e a alimentação de uma unidade da terra úmida construída que compunha o sistema.

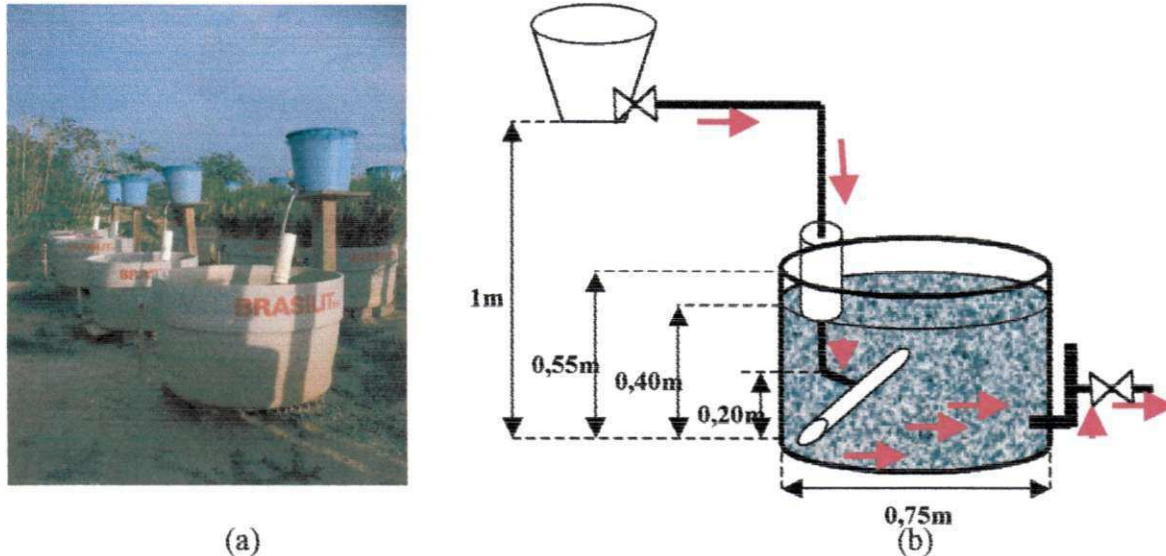


Figura 4.4 – Unidade do sistema de terras úmidas construídas. (a) Visualização das TUCs instaladas no campo experimental da UFCG; (b) Esquema de uma TUC, destacando-se a alimentação com afluyente e fluxo de saída do efluente.

A plataforma de madeira, com 1,0m de altura foi montada perto de cada tanque para colocar, sobre ela, um balde de plástico com capacidade de 20 litros. O balde tinha uma torneira, localizada a 5cm acima da base, que servia para regular a vazão de alimentação da TUC. Essa torneira foi conectada a uma mangueira flexível de 25mm de diâmetro, que introduzia o fluxo de água num tubo de PVC (75mm de diâmetro) para ser distribuído a 20cm de profundidade na camada do substrato (brita ou areia), (Figura 4.4 (a) e (b)).

O dispositivo para a coleta da amostra de água (efluente) estava situado no lado oposto à alimentação, como pode-se observar na Figura 4.4 (b). Este era constituído por um tubo de PVC de 25mm de diâmetro conectado a uma torneira, situada a 15cm de altura de um joelho de plástico instalado no fundo da parede do tanque. O mesmo dispositivo de coleta de água funcionava simultaneamente como tubo extravasador a 35 cm de altura daquele joelho (Figura 4.5).



Figura 4.5 – Detalhes do tubo extravasor em uma TUC mostrando a torneira usada para coleta das amostras.

4.3 – Alimentação do Sistema de Terras Úmidas Construídas

A alimentação das TUCs era “em batelada”, ocorria diariamente, sempre em torno das 17:00 horas, utilizando-se a água do córrego (do ponto P2) que atravessa a UFCG, com destino ao açude de Bodocongó.

Diariamente as TUCs foram alimentadas com 8 litros de afluente, que eram colocados no balde localizado na plataforma de madeira, resultando em um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 10 dias. Essa operação foi cuidadosamente efetuada durante todo o período experimental, procurando-se sempre manter constante o volume de alimentação para assim garantir cargas hidráulicas de 19 mm/dia.



Figura 4.6 – Alimentação das terras úmidas construídas

4.4 – Plantio da Vegetação nas Terras Úmidas Construídas

4.4.1 – *Typha spp*

O plantio da *Typha spp* nas TUCs ocorreu em junho de 2001 para um trabalho anterior (Meira, 2004). Os propágulos de *Typha spp* foram obtidos na lagoa adjacente no sistema

experimental e cujo efluente (P2) servia para alimentar o sistema; antes de serem plantados, tiveram suas folhas cortadas cerca de 20cm das raízes. Os materiais aderidos às raízes foram cuidadosamente retirados. Cada TUC cultivada recebeu 8 propágulos, representando portanto uma densidade de 20 plantas/m².

No segundo ano de funcionamento deste sistema (período correspondente a esta pesquisa) ocorreu apenas o corte das taboas nos tanques, a 20cm da superfície do substrato, retirando-se toda a folhagem (Figura 4.7). Após o corte, ficaram nos tanques aproximadamente 33 propágulos de *Typha ssp* (82,5 plantas/m²).



Figura 4.7 – Detalhes do corte de *Typha spp* na TUC com o substrato areia

4.4.2 – Arroz (*Oryza sativa L.*)

As mudas de arroz foram plantadas exclusivamente para esta pesquisa. A semeadura do arroz foi feita em recipientes plásticos (copos descartáveis) com capacidade de 350ml, providos de 4 furos na base, contendo uma mistura de solo e húmus na proporção de 3:1 (3 partes de solo e 1 parte de húmus). A primeira semeadura foi em outubro de 2002 e a segunda ocorreu em janeiro de 2003. O transplântio para os tanques foi feito 18 dias após a semeadura, seguindo as recomendações de Rodrigues (2000).

Todo o conteúdo do recipiente (terra + húmus + muda) foi plantado nos tanques e cada um recebeu seis copos com mudas. A Figura 4.8 (a) mostra a distribuição destas mudas nos tanques.



Figura 4.8 – (a) Esquema de uma vista superior da distribuição das mudas de arroz dentro das terras úmidas. (b) TUC com a plantação de arroz, instalado na UFCG.

4.5 – Coletas

4.5.1 – Pontos de Coleta de Água

As coletas dos efluentes e do afluente do sistema eram realizadas entre 7:30 às 8:30 horas uma vez por mês ao longo de 9 meses (outubro/2002 à junho/2003).

4.5.1.1 – Identificação dos Pontos da Coleta

As amostras foram coletadas em 19 pontos, assim denominados:

- P2 : Córrego afluente ao sistema;
- A1 : Efluente do tanque de controle de areia (1ª repetição);
- A2 : Efluente do tanque de controle de areia (2ª repetição);
- A3 : Efluente do tanque de controle de areia (3ª repetição);
- B1 : Efluente do tanque de controle de brita (1ª repetição);
- B2 : Efluente do tanque de controle de brita (2ª repetição);
- B3 : Efluente do tanque de controle de brita (3ª repetição);
- AA1 : Efluente do tanque com substrato areia cultivado com arroz (1ª repetição);
- AA2 : Efluente do tanque com substrato areia cultivado com arroz (2ª repetição);
- AA3 : Efluente do tanque com substrato areia cultivado com arroz (3ª repetição);
- AT1 : Efluente do tanque com substrato areia cultivado com *Typha ssp* (1ª repetição);

-
- AT2 : Efluente do tanque com substrato areia cultivado com *Typha spp* (2ª repetição);
AT3 : Efluente do tanque com substrato areia cultivado com *Typha spp* (3ª repetição);
BA1 : Efluente do tanque com substrato brita cultivado com arroz (1ª repetição);
BA2 : Efluente do tanque com substrato brita cultivado com arroz (2ª repetição);
BA3 : Efluente do tanque com substrato brita cultivado com arroz (3ª repetição);
BT1 : Efluente do tanque com substrato brita cultivado com *Typha spp* (1ª repetição);
BT2 : Efluente do tanque com substrato brita cultivado com *Typha spp* (2ª repetição);
BT3 : Efluente do tanque com substrato brita cultivado com *Typha spp* (3ª repetição).

4.5.1.2 – Procedimento na Coleta das Amostras

Em cada tanque eram coletados 2,5 litros de amostra, sendo que 2 litros eram coletados em frascos de plásticos (polipropileno) perfeitamente limpos, que destinavam-se para as análises físico-químicas e 0,5 litro era coletado em um frasco de vidro escuro atóxico com boca larga, para as análises microbiológicas. Estes frascos de vidro, com capacidade de 1 litro, eram previamente esterilizados por calor seco a 170°C durante duas horas e o gargalo protegido com papel alumínio, até o momento da coleta.

As temperaturas das amostras eram medidas no momento da coleta no campo, diretamente nas garrafas plásticas, usando termômetro.

A amostra de afluente que alimentava o sistema (ponto P2), coletava-se diretamente no córrego mergulhando o frasco.

As amostras devidamente identificadas eram transportadas para o Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (AESA do Departamento Engenharia Civil da UFCG), onde eram analisadas, num intervalo que não excedia 2 horas após a coleta.

4.5.2 – Coleta da Vegetação

Durante os 9 meses de experimento houve duas colheitas de arroz e uma colheita de *Typha spp*, pois o ciclo de cultivo do arroz é de 4 meses e o da *Typha spp* é de 8 meses.

4.5.2.1 – Coletas de Arroz

As coletas de arroz ocorreram no mês de fevereiro (1º ciclo) e no mês de junho (2º ciclo) de 2003. Em cada TUC com o plantio de arroz toda a biomassa era retirada, separada (grãos, parte aérea e raízes) e pesadas.

A primeira etapa foi a colheita das panículas de arroz usando uma tesoura para cortá-las e sacos plásticos, devidamente etiquetados, para separá-las (Figura 4.9 (a) e (b)).

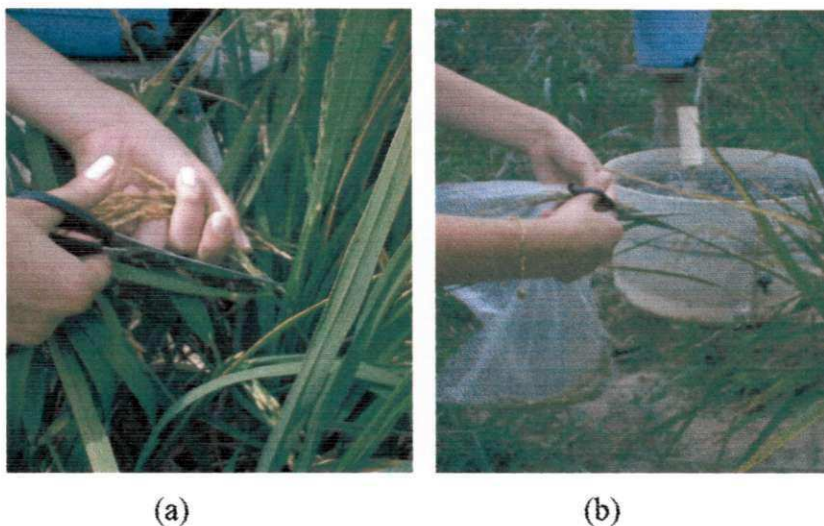


Figura 4.9 – Colheita dos grãos de arroz. (a) Corte da panícula do arroz. (b) Separação dos pêndulos do arroz em sacos plásticos.

Os grãos foram pesados em uma balança analítica Weighing Balance PW-3015 com precisão 0,1, no laboratório da AESA, enquanto que a parte aérea e as raízes foram pesados no Laboratório de Transferência de Massa-Secagem do DEQ em uma balança ARJA, com precisão de 50 à 100g.

As amostras de grãos, da parte aérea e das raízes foram analisadas no Laboratório de Fertilidade de Solo no Centro de Ciências Agrárias da UFPB Campus III, no município de Areia, a 30 km de Campina Grande.

A Figura 4.10 mostra a segunda etapa da coleta, que foi a retirada da parte aérea e das raízes de arroz. Essa colheita foi realizada manualmente, puxando a parte aérea da planta para retirá-la juntamente com as raízes enterradas no substrato (areia ou brita).



Figura 4.10 – Colheita da parte aérea e das raízes da planta de arroz em uma TUC com leito de brita.

Na etapa final, foi separada a parte aérea das raízes da planta de arroz, cortando com uma faca de serra (Figura 4.11).



Figura 4.11 – Separação da parte aérea das raízes das plantas de arroz.

Houve maior dificuldade para retirar as plantas de arroz que estavam plantadas nas TUCs com substrato de areia, pois a aderência das raízes ao substrato era maior do que nas TUCs com substrato de brita (Figura 4.12).

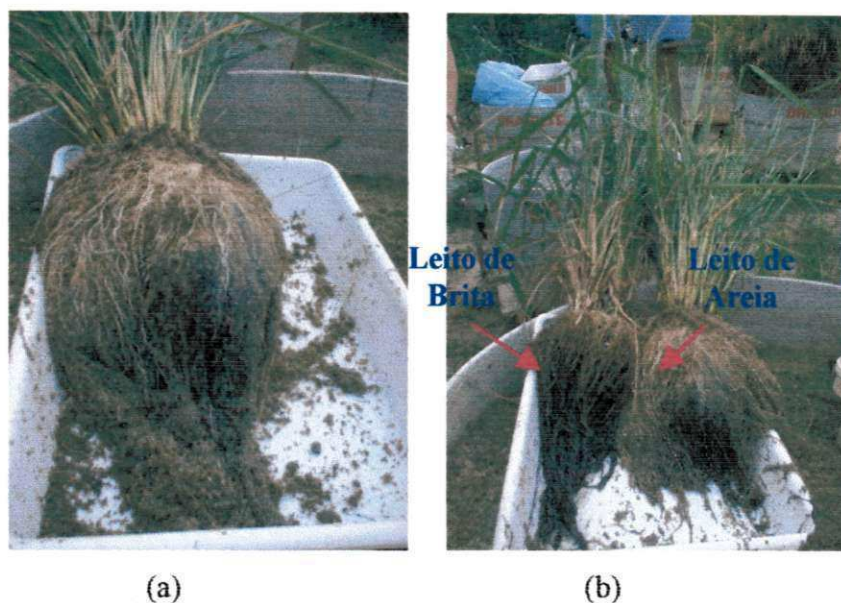


Figura 4.12 – Detalhes das raízes da planta de arroz cultivadas nas TUCs com substrato de areia e substrato de brita. (a) Característica das raízes da planta cultivada no substrato areia. (b) Comparação entre as raízes das plantas de arroz cultivadas nas TUCs com substrato de areia e nas TUCs com substrato de brita.

4.5.2.2. – Coleta da *Typha spp*

A parte aérea da *Typha spp* foi cortada com um facão a 20cm do substrato. As raízes foram retiradas das TUCs depois do corte e ensacadas em sacos de rafia (60 kg). A parte aérea da planta foi colocada em sacos plásticos atóxicos (100 litros) devidamente etiquetadas com a nomeação da TUC.

Todo o material, parte aérea e raízes, foram transportados para o Laboratório de Transferência de Massa Secagem do DEQ para serem pesados na balança ARJA, já descrita. Depois da pesagem separou-se a amostra da parte aérea e das raízes para serem analisadas no Laboratório de Fertilidade de Solo no Centro de Ciências Agrárias da UFPB Campus III, em Areia.

A Figura 4.13 mostra com detalhes o corte realizado para separar a parte aérea da das raízes e de como se encontravam as raízes, da *Typha spp*, dentro das TUCs.



Figura 4.13 – Detalhes do corte para separar a parte aérea das raízes e de como se encontravam as raízes da *Typha spp*, dentro das TUCs. (a) Tanque com substrato de areia. (b) Tanque com substrato de brita

4.5.2.3. – Coleta das Plantas de Arroz e de *Typha spp* para Análises Microbiológicas

As coletas das amostras de folhas (arroz e *Typha spp*) foram destinadas para as análises microbiológicas. Essas amostras foram colocadas em sacos plásticos estéreis após serem cortadas com uma tesoura esterilizada com álcool e fogo no local da coleta. As mãos também foram esterilizadas com álcool 70% e utilizaram-se luvas (estéreis). A cada amostra colhida de cada TUC, trocava-se o par de luva por outra nova e se esterilizava novamente a tesoura (Figura 4.14 (a) e (b)).

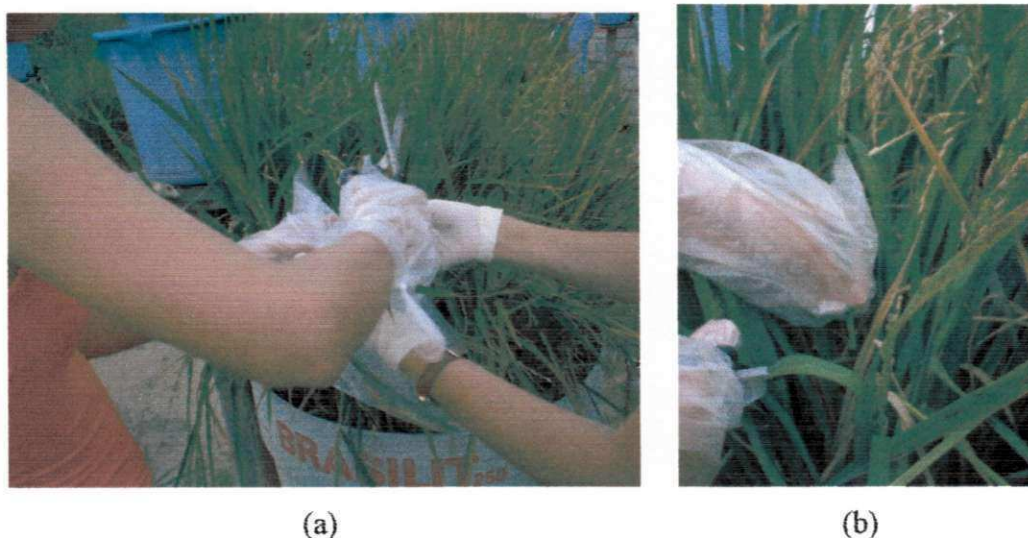


Figura 4.14 – Coleta da parte aérea da planta do arroz para a análise microbiológica. (a) Preparação para o corte da amostra. (b) Corte da amostra.



Figura 4.15 – Armazenamento da amostra.

As folhas foram cortadas de forma variada, distribuída por toda a TUC, para se obter uma amostra homogênea representativa. Esta amostra era colocada em uma sacola plástica (estéril) devidamente etiquetada, que ficava em um recipiente térmico com gelo até ser transportada ao Laboratório da AESA, para a análise (Figura 4.15).

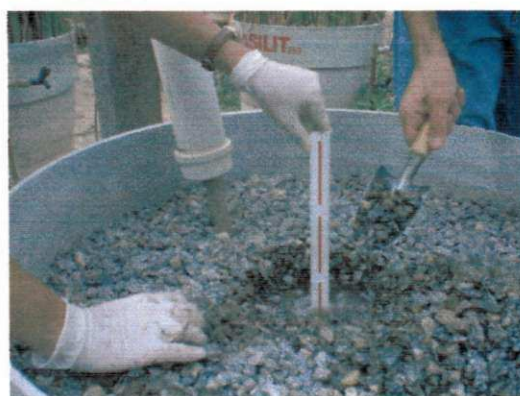
4.5.3 – Coleta do Substrato

As coletas das amostras dos substratos foram feitas em três profundidades: a 10cm, a 20cm e a 30cm da superfície. Para fazer essas coletas utilizou-se uma pá de jardim e uma régua (Figura 4.16). Todas as amostras, após as coletas, foram etiquetadas com a identificação da TUC e a profundidade em que foram coletadas.

A areia precisou ser secada ao ar livre para prosseguir para o Laboratório de Fertilidade de Solo em Areia. A brita permaneceu no laboratório da AESA, para ser analisada.



(a)



(b)

Figura 4.16 – Coleta dos Substratos nas terras úmidas construídas. (a) TUC com o substrato areia. (b) TUC com o substrato brita.

4.6 – Análises

4.6.1 – Água

Os parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados no afluente e nos efluentes, e os respectivos métodos analíticos empregados, estão relacionados na Tabela 4.2. Os métodos estão de acordo com APHA (1995), exceto carbonato e bicarbonato (Richatds, 1977), Demanda Química de Oxigênio (Alabaster & Mills, 1989) e Bacteriófagos F-específico (Debartolomeis e Cabelli, 1991).

Tabela 4.2 – Parâmetros analisados nas amostras de água do sistema “Terras Úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.

Parâmetros	Unidades	Métodos Analíticos
pH	-	Potenciômetro, com medidor de pH da marca ANALYSER, modelo 300, calibrado com soluções tampão de pH 7 e 4
Fósforo Total (PT)	mg P/l	Espectrofotômetro do ácido ascórbico com pré-digestão pelo persulfato de amônia
Ortofostato (O-P)	mg P-PO ₄ ³⁻ /l	Espectrofotométrico do ácido ascórbico
DBO	mg O ₂ /l	Frascos padrões, com incubação a 20°C por 5 dias
DQO	mg O ₂ /l	Refluxação fechada do dicromato de potássio (Alabaster & Mills, 1989)
Colifágos Somáticos (CS)	UFP/100ml	Método utilizando o meio de cultura TSA-M com a cepa hospedeira <i>E. coli</i> C (ATCC nº 13706)
Bacteriófagos F Específicos (BF ⁺)	UFP/100ml	Método da dupla camada com Soft Agar usando a <i>E. coli</i> HS (pFamp)R como cepa hospedeira (Debartolomeis e Cabelli, 1991)
Coliformes Fecais ou termotolerantes (CF)	UFC/100ml	Membrana filtrante, com meio de cultura Agar e m-FC, e incubação à 44,5°C±0,5 durante 24h. A Técnica dos tubos múltiplos com as três fases: Presuntiva (Caldo Lactosado), Confirmativa (Caldo verde brilhante billis 2%) e Completa (Caldo de EC-MUG).

4.6.2 – Vegetação

Os parâmetros analisados nas diferentes partes das plantas (grãos, parte aérea e raízes), seguiram os métodos de Tedesco *et al.*, (1995). Na Tabela 4.3 apresentam-se os parâmetros e os métodos analíticos empregados.

Tabela 4.3 - Parâmetros analisados nas amostras de vegetais cultivadas no sistema “Terras Úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.

Parâmetros	Unidades	Métodos Analíticos
Fósforo Total	mg P/l	Determinação de macronutriente pela digestão com H ₂ O ₂ e H ₂ SO ₄ e recuperado pela digestão nítrico-perclórica (JOHNSON & URRICH, 1959).

4.6.3 – Substrato

No substrato os parâmetros analisados seguiram os métodos da Embrapa. A análise de fósforo total na brita foi realizada através de uma adaptação do método de ignição com extração a quente em sedimentos, descrita por APHA (1995).

Tabela 4.4 - Parâmetros analisados nas amostras de substrato do sistema “Terras úmidas Construídas” e métodos analíticos empregados.

Parâmetros	Unidades	Métodos Analíticos
SUBSTRATO-AREIA		
pH	-	Potenciômetro, com medidor de pH calibrado com soluções tampões pH 7 e 9.
Fósforo Total	mg P/l	Método extrator do duplo ácido
SUBSTRATO-BRITA		
Fósforo Total	mg P/l	Adaptação do método da ignição com extração a quente para sedimentos (descrito no item 3.6.3.1)

»

4.6.3.1 – Análise de Fósforo na Brita.

Com base nas análises de fósforo total através do método de ignição com extração a quente (nos sedimentos) e do método espectrofotométrico do ácido ascórbico com pré-digestão pelo persulfato de amônia (águas) descritas pelo APHA (1995), foram feitas adaptações para analisar a quantidade de fósforo total contida no biofilme que envolvia a brita. As diversas formas de fósforo são extraídas do biofilme com a utilização de reagentes, que agem como extratores, quando em contato com as britas por um certo tempo. Todas as formas de fósforos são reduzidas para fósforo total através da ignição de uma alíquota de brita que tem o biofilme.

O método adaptado foi realizado da seguinte maneira:

1 - Preparação das Cápsulas de porcelana:

1.1- Ignizou-as a 500°C por 20 minutos;

1.2 - Colocou-as em um dessecador, deixando-as a esfriar por 2 horas;

1.3 - Pesou-as e anotou o valor do peso (P_0).

2 – Pesou 100g de brita(P_1);

3 – Colocou-se a brita na cápsula e deixou-as na estufa por 24 horas a uma temperatura de 105°C;

4 – Retirou-se o conjunto (brita+cápsula) da estufa e foi colocada em um dessecador para esfriar por 2 horas;

5 – Pesou-se o conjunto(P_2);

6 – Ignizou-o por 1 hora a temperatura de 500°C;

7 – Foi retirado para esfriar por 2 horas, pesou e anotou o valor (P_3);

8 – Adicionou-se 50ml de HCl a 1N nas cápsulas com britas e colocou-as em banho-maria até começarem a ferver;

9 – Transferiu-se o HCl das cápsulas para um balão volumétrico de 100ml e completou com água destilada;

10 – Colocou a brita em um saquinho de plástico estéril de alimento juntamente com a solução do balão volumétrico de 100ml. Esfregou o saquinho com muita leveza para lavar a brita;

11 – Foi retirado do saquinho 5ml da solução e procedeu-se a análise de fósforo total utilizando o método do ácido ascórbico descrito pelo APHA (1995).

4.6.4 - Análises Estatísticas

Os dados foram submetidos aos seguintes tratamentos:

◆ Os valores médios dos diferentes valores no efluente tratado do substrato e das plantas das terras úmidas construídas foram analisadas utilizando-se uma planilha eletrônica EXCEL 97. Foram calculadas as médias aritméticas das três repetições para expressar as ordens de grandezas dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos do efluente dos dados dos seis tipos de tratamentos com as TUCs. No substrato e na planta a análise aritmética também foi utilizada para o parâmetro fósforo total e a média geométrica foi aplicada nos parâmetros microbiológicos da análise NMP, feita na parte aérea da planta;

◆ Verificou-se que os dados do efluente das terras úmidas tendiam ao comportamento normal com o teste de Kolmogorov-Smirnov utilizando software SPSS 9.0

◆ Com o teste de Turkey, ao nível de significância de 5%, verificou-se se, entre as triplicatas das terras úmidas, a diferença estatística dos parâmetros estudados no efluente, no substrato e nas plantas, para cada tipo de tratamento do afluente. Este teste possibilita comparações entre as TUCs com o mesmo tipo de tratamento (as triplicadas), podendo-se também comparar as diferenças apresentadas nos tratamentos com as TUCs (A, B, AA, AT, BA e BT). Aquela que ultrapassar a D.M.S (diferença mínima significativa) a qual é considerada como intervalo crítico, confirma. Caso contrário, não há diferença significativa entre os tratamentos. Esta análise foi feita com o software SAS versão 6.9, através do procedimento GLM.

CAPITULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados deste trabalho estão apresentados em Tabelas e em Figuras organizadas de acordo com o período do cultivo de cada planta (*Oryza sativa L* e *Typha ssp*) no sistema de terras úmidas construídas (TUC), no campo experimental da UFCG, estudadas ao longo desta pesquisa.

5.1 – Eficiência do Sistema

Apresentam-se, nas Tabelas 5.2 à 5.5, as médias e as percentagens de remoção dos parâmetros físico-químicos, e nas Tabelas 5.6, 5.7 e 5.8, as médias geométricas e as remoções dos parâmetros microbiológicos.

5.1.1 – pH

A Tabela 5.1 apresenta o potencial hidrogeniônico (pH) do afluente e dos efluentes das terras úmidas construídas na UFCG, por todo o período experimental.

Tabela 5.1: As Médias Aritméticas do Potencial Hidrogeniônico nos diferentes tratamentos com *Typha spp* e arroz (*Oryza sativa L*) no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG

pH			Terras Úmidas de Controle		Terras Úmidas Cultivadas		
Ciclo da <i>Typha spp</i>	Mês	P2	A	B	AT	BT	
Primeiro	out/02	7,54	7,67	7,85	7,44	7,58	
	nov/02	7,64	7,72	7,90	7,63	7,64	
	dez/02	7,70	7,82	7,99	7,78	7,78	
	jan/03	7,42	7,79	7,98	7,69	7,7	
	fev/03	7,53	7,75	7,83	7,56	7,05	
	mar/03	7,70	7,78	8,12	7,44	7,87	
	abr/03	7,71	7,77	7,44	7,82	7,95	
	mai/03	7,75	7,98	8,14	7,90	7,94	
	jun/03	7,33	7,60	7,73	7,18	7,39	
Média		7,59	7,76	7,88	7,60	7,66	
Ciclo do Arroz	Mês	P2	A	B	AA	BA	
	Primeiro	out/02	7,54	7,67	7,85	7,19	7,96
		nov/02	7,64	7,72	7,90	7,29	7,64
		dez/02	7,70	7,82	7,99	7,50	7,48
		jan/03	7,42	7,79	7,98	7,48	7,71
		fev/03	7,53	7,75	7,83	7,53	7,71
Média		7,57	7,75	7,91	7,40	7,70	
Segundo	mar/03	7,70	7,78	8,12	7,5	7,83	
	abr/03	7,71	7,77	7,44	7,26	7,60	
	mai/03	7,75	7,98	8,14	7,51	7,88	
	jun/03	7,33	7,60	7,73	7,02	7,30	
Média		7,62	7,78	7,86	7,32	7,65	

A: TUC com substrato areia B: TUC com substrato brita AA: TUC com substrato areia e plantação de arroz BA: TUC com substrato brita e plantação de arroz AT: TUC com substrato areia e plantação de *Typha spp* BT: TUC com substrato de brita e plantação de *Typha spp* P2: Água do córrego (afluente).

A Tabela 5.1 evidencia que os efluentes das terras úmidas construídas tinham o pH mais elevado do que do afluente. Exceto para a TUC com leito de areia e cultivo de arroz em que o pH foi inferior ao do afluente em ambos os ciclos.

5.1.2 – Fósforo Total (PT)

Na Tabela 5.2 apresenta-se a percentagem de remoção de PT entre as TUCs controles e as TUCs vegetadas, em ambos os substratos

Tabela 5.2: Concentrações médias* mensais (mg/l) e percentagens de remoção de fósforo total (mg/l) nos diferentes tratamentos com *Typha spp* e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG

Fósforo Total (mg/l)			Terras Úmidas Controle				Terras Úmidas Cultivadas			
Ciclo da <i>Typha spp</i>	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AT	%P2-AT	BT	%P2-BT
Primeiro	out/02	5,40	2,51	53,44	3,78	29,97	3,83	29,01	1,57	70,90
	nov/02	11,33	4,25	62,53	4,11	63,73	3,51	69,06	1,63	85,64
	dez/02	6,07	4,48	26,28	3,73	38,58	2,65	56,40	1,92	68,36
	jan/03	6,72	5,83	13,18	5,63	16,14	2,63	60,91	6,72	0,00
	fev/03	6,03	5,37	10,92	5,45	9,55	3,43	43,11	1,97	67,33
	mar/03	5,01	4,33	13,61	4,30	14,23	3,56	28,83	2,01	59,91
	abr/03	5,68	3,78	33,33	4,04	28,74	3,16	44,31	2,28	59,77
	mai/03	5,79	4,50	22,29	3,13	45,89	4,71	18,62	3,85	33,44
	jun/03	3,31	5,24	-58,25	4,21	-27,08	6,23	-87,91	3,93	-18,70
Média		6,15	4,48		4,27		3,74		2,88	
(%) Remoção				27,21		30,64		39,11		53,24
Ciclo do Arroz	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AA	%P2-AA	BA	%P2-BA
Primeiro	out/02	5,40	2,51	53,44	3,78	29,97	4,53	16,13	3,33	38,40
	nov/02	11,33	4,25	62,53	4,11	63,73	6,22	45,15	3,17	71,99
	dez/02	6,07	4,48	26,28	3,73	38,58	2,92	52,00	3,35	44,90
	jan/03	6,72	5,83	13,18	5,63	16,14	4,47	33,53	4,60	31,48
	fev/03	6,03	5,37	10,92	5,45	9,55	3,06	49,14	5,66	6,03
Média		7,11	4,49		4,54		4,24		4,02	
(%) Remoção				36,88		36,13		40,39		43,42
Segundo	mar/03	5,01	4,33	13,61	4,30	14,23	2,13	57,55	4,60	8,24
	abr/03	5,68	3,78	33,33	4,04	28,74	3,56	37,19	4,69	17,39
	mai/03	5,79	4,50	22,29	3,13	45,89	0,77	86,68	1,35	76,60
	jun/03	3,31	5,24	-58,25	4,21	-27,08	4,68	-41,27	3,95	-19,34
Média		4,95	4,46		3,92		2,79		3,65	
(%) Remoção				9,84		20,80		43,72		26,30

A: TUC com substrato areia B: TUC com substrato brita AA: TUC com substrato areia e plantação de arroz BA: TUC com substrato brita e plantação de arroz AT: TUC com substrato areia e plantação de *Typha spp* BT: TUC com substrato de brita e plantação de *Typha spp* P2: Água do córrego (afluente). *Os valores médios se referem às três repetições.

A Tabela 5.2 mostra que, independentemente do tipo de substrato, as TUCs com cultivo de *Typha spp* e arroz tiveram melhor eficiência que as TUCs controles na remoção de fósforo total. Segundo Brix, (1997), a maior remoção de fósforo ocorrido nas TUCs vegetadas é devido à ação das plantas, que adsorvem e absorvem formas de fósforo na biomassa e auxiliam no processo físico, no processo químico e na precipitação (Brix, 1997). Resultados semelhantes para o nitrogênio total, amônia e nitrato foram observados por Oliveira (2004) no mesmo sistema estudando o ciclo de nitrogênio.

Confirmando uma melhor eficiência de remoção de fósforo total nas TUCs vegetadas aplicou-se o teste de Turkey aos dados da concentração de PT no efluente das TUCs vegetadas com *Typha ssp.*, cultivadas nos substratos de areia e no substrato de brita. Em relação aos dados das TUCs controles, em ambos os substratos, houve uma diferença estatística a nível de 5%.

O mesmo ocorreu ao analisar os dados da concentração de PT nas TUCs com cultivo de arroz nos substratos de areia e nos substratos de brita em relação às TUCs controles.

Com relação às terras úmidas com cultivo de arroz, a mesma Tabela 5.1 mostra que ocorreu remoção de fósforo total do afluente. Em termos percentuais, a remoção de PT foi menor com o cultivo de arroz. Contudo não houve diferença significativa com o teste de Turkey entre as TUC controles e as TUC com arroz em substrato de areia, mas no cultivo de arroz nas TUCs com substrato de brita a remoção foi maior significativamente, a nível de 1%.

Tanto usando substrato de areia ou brita ocorreu diferença significativa, a nível de 5%, segundo o teste de Turkey, entre as TUC controles e as TUC com cultivo de *Typha ssp.* Isto se relaciona com a maior taxa metabólica da *Typha spp* para absorver este nutriente; associação entre outros fatores, a seu maior ciclo de crescimento (9 meses), em relação ao arroz (4 meses), ao tamanho da macrófita (altura, controle, raiz) e a sua necessidade de fósforo (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

Analisando a influência do tipo do substrato na remoção de PT nas TUCs, observa-se que nas TUCs com substrato de brita a eficiência de remoção foi maior, sendo vegetadas ou não. Segundo o teste de Turkey a diferença foi significativa na concentração de PT no efluente, em nível de 5%, entre as TUC controles com substrato de areia e com substrato de brita.

A retenção de PT em um sistema TUC depende de diversos fatores como: o tempo de detenção hidráulica (Headley, Huett e Davison, 2000), o fluxo aplicado, o tipo e o desenho do sistema e a capacidade de sorção pelo substrato.

A capacidade de sorção pelo substrato de PT depende da presença de minerais (Al, Mg e íons de Fe) (Drizo *et al.*, 1997) e do tamanho da área específica do material utilizado como substrato. Geller (1997) relata que dependendo do material, areia ou outras substâncias com áreas específicas maiores, a eficiência pode atingir 99% na remoção de PT.

O modelo TUC de fluxo subsuperficial horizontal, geralmente, tem grande potencial de remoção de fósforo (Brix, Arias e Bubba, 2000), tendo sido observado remoções de 98 a 100% em sistemas com fluxo subsuperficial com plantação de *Phragmites australis* e substrato de pedregulho, em escala laboratorial, segundo Drizo *et al.*, 1997. Geller (1997) trabalhando com TUC de fluxo horizontal subsuperficial com predominância de *Phragmites* obteve remoção de 98%, no Norte da Inglaterra. Comeau, *et al.*(2000), com TUC com fluxo horizontal e plantação de *Phragmites australis* tiveram remoção de PT 80%, no Canadá. Headley, Huette e Davison. (2000) conseguiram 94,4% com cinco dias de TDH, 78,2% com quatro dias de TDH e 65,5% em dois dias de TDH, na Austrália. Sobrinho (2002), o modelo de TUC com fluxo subsuperficial, alimentação de batelada e cultivo de *Typha ssp* com 5 e 10 TDH obteve remoção de fósforo 87%. Meira (2004), com o mesmo sistema deste estudo, conseguiu remoções entre 74 e 87% para 5 e 10 TDH.

5.1.3 – Ortofosfato (Orto-P)

Observa-se na Tabela 5.3 a remoção de orto-P entre as terras úmidas construídas controles e com as terras úmidas construídas vegetadas.

Tabela 5.3: Concentrações médias* mensais (mg/l) e porcentagem de remoção do ortofosfato (mg/l) nos diferentes tratamentos com *Typha spp* e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG

Ortofosfato (mg P-PO/l)			Terras Úmidas de Controle				Terras Úmidas Cultivadas			
Ciclo da <i>Typha spp</i>	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AT	%P2-AT	BT	%P2-BT
Primeiro-	out/02	4,70	2,33	50,36	3,28	30,09	2,62	44,16	1,12	76,21
	nov/02	4,76	3,06	35,76	3,43	27,79	1,88	60,43	0,80	83,14
	dez/02	5,14	3,28	36,11	3,49	32,01	1,29	74,87	1,94	62,31
	jan/03	4,71	3,41	27,52	4,28	9,02	1,18	75,01	3,95	16,13
	fev/03	4,75	4,70	1,04	4,06	14,69	2,87	39,61	1,63	65,72
	mar/03	4,45	3,86	13,41	4,03	9,61	1,02	77,17	1,40	68,56
	abr/03	4,67	3,74	19,79	2,78	40,34	2,12	54,65	2,00	57,08
	mai/03	4,94	4,20	14,82	3,16	35,92	3,56	27,83	3,81	22,90
	jun/03	1,86	4,75	-155,19	3,87	-107,59	4,13	-121,83	3,02	-62,23
Média		4,44	3,70		3,60		2,30		2,18	
(%) Remoção				16,56		18,95		48,27		50,80
Ciclo do Arroz	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AA	%P2-AA	BA	%P2-BA
Primeiro	out/02	4,70	2,33	50,36	3,28	30,09	3,22	31,45	3,23	31,15
	nov/02	4,76	3,06	35,76	3,43	27,79	2,91	38,88	2,74	42,47
	dez/02	5,14	3,28	36,11	3,49	32,01	1,67	67,47	2,62	48,95
	jan/03	4,71	3,41	27,52	4,28	9,02	0,43	90,84	3,76	20,12
	fev/03	4,75	4,70	1,04	4,06	14,69	0,91	80,85	5,73	-20,62
Média		4,81	3,36		3,71		1,83		3,62	
(%) Remoção				30,22		22,89		62,00		24,80
Segundo	mar/03	4,45	3,86	13,41	4,03	9,61	2,48	44,22	3,83	13,91
	abr/03	4,67	3,74	19,79	2,78	40,34	2,15	53,89	3,21	31,21
	mai/03	4,94	4,20	14,82	3,16	35,92	0,39	92,03	1,09	77,82
	jun/03	1,86	4,75	-155,19	3,87	-107,59	1,86	0,00	3,50	-88,09
Média		3,98	4,14		3,46		1,72		2,91	
(%) Remoção				-4,01		13,06		56,70		26,86

A: TUC com substrato areia B: TUC com substrato brita AA: TUC com substrato areia e plantação de arroz BA: TUC com substrato brita e plantação de arroz AT: TUC com substrato areia e plantação de *Typha spp* BT: TUC com substrato de brita e plantação de *Typha spp* P2: Água do córrego (afluente).

*Os valores médios se referem às três repetições.

Comparando na Tabela 5.3 a remoção de ortofosfato nos efluentes das TUCs, que cultivaram *Typha spp* no substrato de areia e no substrato de brita foi praticamente a mesma, 48,27% e 50,80%.

Contudo, no efluente das TUCs que cultivaram arroz no substrato de areia a porcentagem de remoção foi aproximadamente o dobro (62%) da porcentagem de remoção nas TUCs com cultivo de brita, 24,80%, para o primeiro ciclo do arroz. O mesmo

comportamento ocorreu para o segundo ciclo, 56,70% no substrato de areia e 26,86 no substrato de brita.

No segundo ciclo a percentagem de remoção nos controles foi menor e negativa, cerca de - 4,01%, ou seja, estavam lançando uma concentração maior de ortofosfato no efluente do que a concentração que entrava no afluente, provavelmente devido ao desprendimento de biofilme rico neste componente (Brix, Arias e Bubba, 2000).

Nas TUCs com cultivo de arroz no substrato de brita a remoção foi mais elevada que nas TUCs controles de brita, correspondendo a 24,80% no primeiro ciclo e a 26,86% no segundo, a diferença não foi significativa estatisticamente. Observa-se que entre as TUCs com cultivos de arroz nos substratos de areia e brita, a concentração de ortofosfato foi removida com melhor eficiência nas TUC com substrato de areia.

Não foi verificada diferença significativa estatística com o teste de Turkey ao analisar a concentração de ortofosfato no efluente das TUCs controles, com substrato de areia e com substrato de brita. As baixas remoções de ortofosfatos nas TUCs não vegetados eram esperados, pois as formas de fósforo, em especial o ortofosfato solúvel, é facilmente absorvido pelo sistema radicular das plantas por ser rapidamente usado no metabolismo e para o crescimento (Brix, 1997; Esteves, 1999). A diferença na eficiência de remoção entre os tratamentos com e sem vegetação evidencia que as plantas exercem importante função na remoção de nutrientes, na sua detenção e precipitação no fundo do tanque, nas alterações de pH e por “absorver” este componente no biofilme (Drizo *et al.*, 1997; Hench *et al.*, 2003).

Contudo, no primeiro ano de funcionamento do sistema TUC as remoções de ortofosfato solúvel ficaram entre 86 e 100%, segundo Meira (2004).

5.1.4 – Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

A Tabela 5.4 apresenta a média da DBO₅ no afluente e nos efluentes das terras úmidas construídas.

Tabela 5.4: Concentrações médias* mensais (mg/l) e porcentagem de remoção de DBO₅ nos diferentes tratamentos com *Typha spp* e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG

DBO ₅ (mg/l)			Terras Úmidas de Controle				Terras Úmidas Cultivadas			
Ciclo da <i>Typha spp</i>	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AT	%P2-AT	BT	%P2-BT
Primeiro	out/02	12,05	2,66	77,95	1,78	85,25	2,08	82,78	1,32	89,08
	nov/02	10,35	2,26	78,15	1,31	87,35	1,08	89,56	1,25	87,89
	dez/02	11,27	1,25	88,91	1,05	90,66	1,22	89,22	1,71	84,87
	jan/03	7,18	1,08	85,00	1,40	80,49	0,77	89,28	0,00	100,00
	fev/03	13,97	0,77	94,49	1,76	87,36	1,06	92,43	2,39	82,92
	mar/03	13,45	3,28	75,59	1,38	89,75	1,16	91,37	1,91	85,82
	abr/03	19,61	2,38	87,89	2,16	88,97	1,70	91,31	2,18	88,88
	mai/03	15,94	2,19	86,29	1,37	91,43	1,17	92,66	1,51	90,54
jun/03	8,48	1,01	88,08	0,84	90,08	0,70	91,74	1,44	83,05	
Média		12,48	1,87		1,45		1,21		1,52	
(%) Remoção				84,98		88,38		90,27		87,81
Ciclo do Arroz	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AA	%P2-AA	BA	%P2-BA
Primeiro	out/02	12,05	2,66	77,95	1,78	85,25	4,86	59,64	4,59	61,88
	nov/02	10,35	2,26	78,15	1,31	87,35	1,94	81,29	1,48	85,69
	dez/02	11,27	1,25	88,91	1,05	90,66	1,65	85,40	1,47	87,00
	jan/03	7,18	1,08	85,00	1,40	80,49	1,02	85,73	0,90	87,53
	fev/03	13,97	0,77	94,49	1,76	87,36	2,29	83,60	1,56	88,83
Média		10,96	1,60		1,46		2,35		2,00	
(%) Remoção				85,37		86,67		78,54		81,76
Segundo	mar/03	13,45	3,28	75,59	1,38	89,75	2,38	82,31	2,61	80,59
	abr/03	19,61	2,38	87,89	2,16	88,97	2,13	89,15	2,72	86,13
	mai/03	15,94	2,19	86,29	1,37	91,43	3,25	79,62	2,82	82,32
	jun/03	8,48	1,01	88,08	0,84	90,08	1,28	84,88	1,48	82,49
Média		14,37	2,21		1,44		2,26		2,41	
(%) Remoção				84,60		90,00		84,28		83,24

A: TUC com substrato areia B: TUC com substrato brita AA: TUC com substrato areia e plantação de arroz BA: TUC com substrato brita e plantação de arroz AT: TUC com substrato areia e plantação de *Typha spp* BT: TUC com substrato de brita e plantação de *Typha spp* P2: Água do córrego (afluente).

*Os valores médios se referem às três repetições.

A Tabela 5.4 mostra que a BDO₅ teve maior remoção nas TUCs controles com substrato de brita (88,3%) do que nas TUCs com substrato de areia (85%). A concentração de DBO₅ entre as TUC controles com substrato de areia e com substrato de brita teve uma diferença significativa estatisticamente, em nível de 1%.

Nas TUCs com cultivo de *Typha ssp* e substrato de areia houve maior remoção (90,3%) do que na TUC com *Typha ssp* e substrato de brita (87,81%). A remoção da matéria orgânica nas TUCs se dá pela inter-relação dos processos: sedimentação, filtração e biodegradação microbiana que fica integrado ao sistema raiz-substrato (Reddy e D'Angelo, 1997).

Observa-se que todas as remoções foram superiores a 83% e semelhantes aos resultados de Sobrinho (2002), Meira *et al.* (2003) e Oliveira (2004). No mesmo sistema Meira iniciou os seus trabalhos em 2001, ou seja, ao longo de 24 meses o sistema em estudo não alterou sua eficiência de remoção de DBO_5 .

Nos dois ciclos de cultivo de arroz deste estudo a remoção de DBO_5 foi maior nas TUCs com leito de brita para o primeiro ciclo, contudo, no segundo ciclo a remoção foi praticamente a mesma em ambos os substratos tendo índices superiores as TUCs com leito de areia.

As TUCs vegetadas foram as mais eficientes na remoção de DBO_5 . Os efluentes das TUCs tiveram DBO_5 inferior a 3mg/l. Este valor está abaixo do exigido pelo CONAMA nº 20 (5mg/l) para o lançamento de efluentes em corpos d'água de classe II.

O teste de Turkey mostrou uma diferença significativa na concentração de DBO_5 entre as TUCs controles (com substrato de areia) e as TUCs que cultivaram arroz e *Typha ssp*, no substrato de areia. Também observou uma diferença estatística significativa entre as TUCs controles (com substrato de brita) e as TUCs com cultivo de arroz no substrato de brita.

5.1.5 - Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Tabela 5.5 apresenta os valores da DQO do afluente e dos efluentes das TUCs, juntamente com percentagem de remoção.

Tabela 5.5: Concentrações médias* mensais (mg/l) e porcentagens de remoção de DQO nos diferentes tratamentos com *Typha spp* e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFMG

DQO (mg/l)			Terras Úmidas de Controle				Terras Úmidas Cultivadas			
Ciclo da <i>Typha spp</i>	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AT	%P2-AT	BT	%P2-BT
Primeiro	out/02	73,6	105,34	-43,14	99,57	-35,29	AT	%P2-AT	142,86	-94,12
	nov/02	244,	120,00	50,82	141,33	42,08	125,54	-70,59	200,00	18,03
	dez/02	103,9	131,31	-26,39	79,02	23,94	144,00	40,98	194,81	-87,50
	jan/03	87,3	74,07	15,15	39,68	54,55	151,52	-45,83	201,06	-130,30
	fev/03	370,5	301,33	18,67	389,33	-5,08	69,44	20,45	456,67	-23,26
	mar/03	375,6	321,49	14,41	460,24	-22,52	294,67	20,47	483,93	-28,83
	abr/03	162,	25,64	84,17	28,21	82,59	500,85	-33,33	166,67	-2,88
	mai/03	62,	20,67	66,67	56,07	9,58	115,38	28,77	108,53	-75,00
jun/03	109,4	119,79	-9,52	83,33	23,81	93,02	-50,00	190,10	-73,81	
Média		176,48	135,52		152,98		156,25		238,29	
(% Remoção)				23,21		13,32		11,46		-35,02
Ciclo do Arroz	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AA	%P2-AA	BA	%P2-BA
Primeiro	out/02	73,59	105,34	-43,14	99,57	-35,29	154,40	-109,80	131,31	-78,43
	nov/02	244,00	120,00	50,82	141,33	42,08	144,00	40,98	112,00	54,10
	dez/02	103,90	131,31	-26,39	79,02	23,94	114,00	-9,72	157,29	-51,39
	jan/03	87,30	74,07	15,15	39,68	54,55	70,11	19,70	89,95	-3,03
	fev/03	370,50	301,33	18,67	389,33	-5,08	367,33	0,85	343,33	7,33
Média		175,86	146,41		149,79		169,97		166,78	
(% Remoção)				16,75		14,83		3,35		5,17
Segundo	mar/03	375,63	321,49	14,41	460,24	-22,52	335,03	10,81	351,95	6,31
	abr/03	162,00	25,64	84,17	28,21	82,59	46,15	71,51	56,41	65,18
	mai/03	62,02	20,67	66,67	56,07	9,58	69,77	-12,50	69,77	-12,50
	jun/03	109,38	119,79	-9,52	83,33	23,81	7,81	92,86	205,73	-88,10
Média		177,26	121,90		156,96		114,69		170,96	
(% Remoção)				31,23		11,45		35,30		3,55

A: Sistema TUC com substrato areia B: Sistema TUC com substrato brita AA: Sistema TUC com substrato areia e plantação de arroz BA: Sistema TUC com substrato brita e plantação de arroz AT: Sistema TUC com substrato areia e plantação de *Typha spp* BT: Sistema TUC com substrato de brita e plantação de *Typha spp* P2: Água do córrego (afluente)

*Os valores médios se referem às três repetições.

A DQO aumentou em várias amostras enquanto a DBO₅ diminuiu. Esses resultados podem ser interpretados, considerando que a matéria orgânica biodegradável que entra no sistema é estabilizada, formando uma fração recalcitrante ou não biodegradável mais predominante que é detectado na DQO. Por isso as concentrações DQO no efluente das terras úmidas construídas com cultivo de plantas foram na maioria iguais ou maiores do

que a concentração de DQO no afluente. Diferentes autores observaram este mesmo fenômeno em sistemas de terras úmidas (Oliveira, 2004). Entretanto, nas TUCs controles com substrato de areia apresentam as melhores remoções de DQO.

Observando na Tabela 5.5 os resultados de DQO nos leitos cultivados com arroz, destaca-se que não houve eficiências de remoções semelhantes nos dois ciclos, sendo que no primeiro a remoção foi de 3,35% enquanto no segundo houve um aumento de quase dez vezes (35,30%) estando associado ao maior desenvolvimento do biofilme no segundo ciclo. A remoção também foi maior no segundo ciclo nas TUCs controles com substrato areia: a eficiência de remoção ou DQO no segundo ciclo foi duas vezes superior à do primeiro ciclo.

Estatisticamente não houve diferença da concentração de DQO do efluente das TUCs controles com as TUCs vegetadas com arroz e com as TUCs vegetadas com *Typha ssp.*

5.1.6 – Coliformes Termotolerantes

As variações das remoções de Coliformes Termotolerantes no efluente das TUCs durante o período experimental encontram-se na Tabela 5.6.

Tabela 5.6: Concentrações médias* mensais (UFC/100ml) e porcentagens de remoção de Coliformes Termotolerantes nos diferentes tratamentos com *Typha spp* e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFMG

Coliformes Termotolerantes (UFC/100ml)			Terras Úmidas de Controle				Terras Úmidas Cultivadas			
Ciclo da <i>Typha spp</i>	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AT	%P2-AT	BT	%P2-BT
Primeiro	out/02	1,E+06	1,E+03	99,89	2,E+04	97,86	9,E+02	99,91	1,E+03	99,86
	nov/02	3,E+05	9,E+03	97,04	1,E+03	99,67	9,E+02	99,71	2,E+03	99,38
	dez/02	5,E+05	4,E+02	99,92	1,E+04	97,67	2,E+02	99,96	8,E+03	98,48
	jan/03	3,E+05	9,E+03	97,04	1,E+03	99,67	9,E+02	99,71	2,E+03	99,38
	fev/03	1,E+06	2,E+03	99,81	3,E+04	97,00	1,E+04	98,99	5,E+03	99,54
	mar/03	2,E+06	8,E+05	56,63	1,E+04	99,19	2,E+03	99,91	7,E+03	99,63
	abr/03	1,E+06	2,E+03	99,85	2,E+04	97,96	1,E+03	99,89	4,E+03	99,64
	mai/03	9,E+05	2,E+03	99,79	3,E+04	96,77	8,E+02	99,91	7,E+02	99,92
	jun/03	9,E+05	2,E+03	99,81	1,E+04	98,81	5,E+02	99,94	1,E+03	99,88
	Média Geométrica	8,E+05	4,E+03			1,E+03		1,E+03		2,E+03
(% Remoção)			99,50		98,71		99,87		99,69	
Ciclo do Arroz	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AA	%P2-AA	BA	%P2-BA
Primeiro	out/02	1,E+06	1,E+03	99,89	2,E+04	97,86	1,E+03	99,87	2,E+04	97,78
	nov/02	3,E+05	9,E+03	97,04	1,E+03	99,67	2,E+03	99,47	6,E+02	99,79
	dez/02	5,E+05	4,E+02	99,92	1,E+04	97,67	3,E+02	99,94	1,E+04	98,07
	jan/03	3,E+05	9,E+03	97,04	1,E+03	99,67	2,E+03	99,47	6,E+02	99,79
	fev/03	1,E+06	2,E+03	99,81	3,E+04	97,00	4,E+04	96,23	4,E+04	95,88
Média Geométrica	5,E+05	1,E+02			6,E+03		2,E+03		5,E+03	
(% Remoção)			99,54		98,80		99,59		98,96	
Segundo	mar/03	2,E+06	8,E+05	56,63	1,E+04	99,19	1,E+04	99,36	9,E+03	99,50
	abr/03	1,E+06	2,E+03	99,85	2,E+04	97,96	2,E+03	99,85	1,E+04	99,03
	mai/03	9,E+05	2,E+03	99,79	3,E+04	96,77	2,E+03	99,75	5,E+04	94,52
	jun/03	9,E+05	2,E+03	99,81	1,E+04	98,81	2,E+03	99,79	3,E+04	97,05
Média Geométrica	1,E+06	8,E+03			2,E+04		3,E+03		2,E+04	
(% Remoção)			98,99		97,77		99,63		97,65	

A: TUC com substrato areia B: TUC com substrato brita AA: TUC com substrato areia e plantação de arroz BA: TUC com substrato brita e plantação de arroz AT: TUC com substrato areia e plantação de *Typha spp* BT: TUC com substrato de brita e plantação de *Typha spp* P2: Água do córrego (afluente). *Os valores médios se referem às três repetições.

Houve porcentagens elevadas de remoção coliformes de termotolerantes nas TUCs controles com substrato de areia e de brita, sendo maiores na brita. Nas TUCs cultivadas essa remoção foi ainda mais alta, com destaque para os substrato de areia cultivados com

arroz ou *Typha ssp* (98,99%). Todos os efluentes das TUCs atendem ao limite estabelecido pela Resolução CONAMA Nº 20, (5.10^3 UFC/100ml) para lançamento em rios de classe 02.

Entretanto o valor das concentrações remanescentes ainda foi alto e não adequado para a irrigação irrestrita (na ordem de 1.10^3 UFC/100ml) de acordo com as recomendações da OMS (1989), que estabelece seu limite de 1000 coliformes /100 ml.

Nos dois ciclos do cultivo de arroz houve maiores remoções (99,54 e 98,99%) nas TUCs com substrato de brita e cultura de arroz (98,80 e 97,77%).

A redução de bactérias no sistema de terras úmidas ocorre através de fatores físicos, químicos e biológicos. O fator físico inclui os processos de filtração, sedimentação e agregação às partículas de sólidos e adsorção. O mecanismo biológico reduz as bactérias através de antibióticos produzidos por outras bactérias autoctonas do sistema e pela ação letal de metabolitos vegetais eliminados pelas raízes, ingestão pelos nematóides e protozoários, e pela lise das bactérias devido ao ataque dos bacteriófagos, assim como pela morte natural. Os fatores químicos que contribuem para a redução das bactérias são a oxidação e adsorção (Green, Griffin e Seabridge, 1997; Ottavá, Balcaróva e Vymazal, 1997; Weedon, 2003).

Weedon (2003) usando um sistema de terras úmidas construídas de fluxo vertical observou reduções de coliformes termotolerantes de $1,6. 10^7$ UFC/100ml para $2,8.10^3$ UFC/100ml (98,25%), no Norte da Inglaterra. No estudo de Barret *et al.* (2003), comparando dois sistemas de TUC no primeiro com fluxo vertical (no Alabama) e plantação de *Juncus effusus*, houve remoções de 90%, e no segundo de fluxo horizontal, no Norte da Carolina, e plantação de *Scirpus validus*, houve remoções 87% de coliformes termotolerantes. Stenström e Carlander, (2000), num sistema TUC com fluxo subsuperficial, em clima temperado, observou remoções de 97%. Esses resultados sugerem melhores eficiências na remoção de Coliformes em ambientes mais quentes independente do tipo de fluxo. Comparando com os resultados do presente trabalho, as remoções aqui obtidas foram altas e estão associadas às condições do clima tropical com maior temperatura, o que ocorre maior taxa de metabolismo microbiano, maior biodegradação e maior estímulo do crescimento da fitomassa que estimula o predatismo e a competição na zona radicular (Brix, Arias e Budda, 2000).

5.1.7 – Colifágos Somáticos (CS)

Encontra-se na Tabela 5.7 as remoções mensais de CS nos efluentes das TUCs durante todo o experimento.

Tabela 5.7: Concentrações média*s mensais (UFP/100ml) e porcentagens de remoção de Colifágos somáticos (CS) nos efluentes dos diferentes tratamentos com *Typha spp* e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFMG

Colifágos Somático (UFP/100ml)			Terras Úmidas de Controle				Terras Úmidas Cultivadas			
Ciclo da <i>Typha spp</i>	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AT	%P2-AT	BT	%P2-BT
Primeiro	nov/02	4,E+04	1,E+02	99,68	1,E+03	97,23	2,E+02	99,60	7,E+02	98,31
	dez/02	4,E+04	2,E+02	99,47	8,E+02	98,02	2,E+02	99,47	2,E+03	94,69
	jan/03	2,E+04	2,E+02	99,21	1,E+03	93,60	2,E+02	99,04	2,E+02	99,04
	fev/03	5,E+05	2,E+00	100,0	3,E+02	99,94	4,E+02	99,92	6,E+02	99,87
	mar/03	5,E+04	1,E+02	99,78	1,E+03	97,20	6,E+01	99,87	2,E+02	99,69
	abr/03	5,E+04	3,E+01	99,95	6,E+02	98,87	1,E+01	99,97	1,E+03	97,58
	mai/03	5,E+04	6,E+01	99,87	2,E+03	95,57	8,E+00	99,98	9,E+01	99,81
jun/03	8,E+04	3,E+02	99,61	2,E+03	98,17	2,E+02	99,78	2,E+02	99,81	
Média Geométrica		6,E+04	7,E+01		1,E+03		9,E+01		4,E+02	
(%) Remoção				99,89		98,38		99,86		99,61
Ciclo do Arroz	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AA	%P2-AA	BA	%P2-BA
Primeiro	nov/02	4,E+04	1,E+02	99,68	1,E+03	97,23	3,E+02	99,36	9,E+02	97,75
	dez/02	4,E+04	2,E+02	99,47	8,E+02	98,02	2,E+02	99,59	1,E+03	97,33
	jan/03	2,E+04	2,E+02	99,21	1,E+03	93,60	2,E+02	98,95	2,E+03	89,12
	fev/03	5,E+05	2,E+00	100,0	3,E+02	99,94	3,E+02	99,94	3,E+02	99,92
Média Geométrica		6,E+04	5,E+01		1,E+01		2,E+02		9,E+02	
(%) Remoção				99,86		99,92		99,98		97,77
Segundo	mar/03	5,E+04	1,E+02	99,78	1,E+03	97,20	5,E+01	99,90	2,E+03	96,70
	abr/03	5,E+04	3,E+01	99,95	6,E+02	98,87	2,E+01	99,96	9,E+02	98,26
	mai/03	5,E+04	6,E+01	99,87	2,E+03	95,57	5,E+00	99,99	1,E+03	97,70
	jun/03	8,E+04	3,E+02	99,61	2,E+03	98,17	5,E+00	99,99	2,E+03	97,43
Média Geométrica		6,E+04	9,E+01		1,E+01		1,E+01		1,E+03	
(%) Remoção				99,86		97,92		99,98		97,77

A: TUC com substrato areia B: TUC com substrato brita AA: TUC com substrato areia e plantação de arroz BA: TUC com substrato brita e plantação de arroz AT: TUC com substrato areia e plantação de *Typha spp* BT: TUC com substrato de brita e plantação de *Typha spp* P2: Água do córrego (afluente). *Os valores médios se referem às três repetições.

A Tabela 5.7 evidencia que as remoções de CS nas TUCs controles com substrato de areia 99,89% nas TUCs controles com substrato de brita a remoção foi 98,36% para a brita. A remoção de CS foi maior nas TUCs controles com substrato de areia. Segundo o teste de Turkey houve uma diferença estatística significativa a nível de 1%.

Analisando, as remoções de CS foi maior nas TUCs com cultivo de *Typha ssp* no substrato de brita (99,61%) do que nas TUCs controles com substrato de brita (98,38%). Possivelmente a presença da planta influencia na remoção, pois houve uma diferença estatística significativa a nível de 5% ao aplicar o teste de Turkey.

Contudo, ao analisar a remoção de CS nas TUCs com cultivo de *Typhas ssp* no substrato de areia (99,86%) e nas TUCs controles (95,89%) a remoção foi semelhante em ambos os tratamentos do afluente. Este resultado é confirmado pelo teste de Turkey que não mostrou uma diferença estatística significativa. Nos substratos de areia, a *Typha ssp*, possivelmente não influenciou na remoção de CS.

Segundo Maehlum, Haarstad e Kraft (2002) as remoções de CS são bastante elevadas quando utilizadas como tratamento secundário ou terciário, independente do clima. No sistema, em escala piloto, de fluxo subsuperficial, vegetado com substrato de pedregulho, no Egito foi obtido remoções de CS de 99,7% e em outro sistema no Reino Unido, Inglaterra, um sistema semelhante também reteve concentrações altas de CS, cerca de 100%.

Apesar dos valores de remoção das concentrações de colifágos somáticos terem sido elevadas neste estudo, acima de 97,77%, as concentrações remanescentes, ainda foram altas, como as concentrações de CTerm. Entretanto, não há na legislação vigente valores limites de CS, mas podem substituir os CTerm em momentos especiais. Desastres, não há uma associação exata entre o número de Cterm e CS, mas valores superiores a 1000 UFP/100ml indicam poluição elevada.

5.1.8 - Bacteriófagos F-específicos (BF⁺)

As concentrações juntamente com as percentagens de remoção de Bacteriófagos F-específicos nas terras úmidas construídas são observados na Tabela 5.8.

Tabela 5.8: Concentrações médias* mensais (UFP/100ml) e percentagens de remoção de Bacteriófagos F-específicos (BF⁺) nos diferentes tratamentos com *Typha spp* e arroz no sistema experimental de terras úmidas construídas (TUC) da AESA/DEC/CCT/UFCG

Bacteriófagos F-específico (UFP/100ml)		Terras Úmidas de Controle				Terras Úmidas Cultivadas				
Ciclo da <i>Typha spp</i>	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AT	%P2-AT	BT	%P2-BT
Primeiro	dez/02	1,E+05	5,E+02	99,57	4,E+03	96,36	3,E+02	99,69	4,E+02	99,67
	jan/03	3,E+03	8,E+01	96,67	5,E+02	81,00	3,E+01	99,00	9,E+01	96,50
	fev/03	8,E+03	5,E+01	99,33	5,E+02	93,61	4,E+02	94,61	4,E+02	95,06
	mar/03	2,E+05	1,E+02	99,94	2,E+02	99,87	2,E+01	99,99	3,E+01	99,98
	abr/03	1,E+05	7,E+01	99,93	1,E+03	98,90	4,E+00	100	3,E+03	96,65
	mai/03	3,E+04	1,E+01	99,96	5,E+02	98,49	0,E+00	100	1,E+01	99,96
	jun/03	3,E+04	3,E+01	99,89	2,E+02	99,28	0,E+00	100	3,E+01	99,91
Média Total		3,E+04	7,E+01		6,E+02		5E+01		3,E+02	
Remoção(%)				99,78		98,09		99,84		99,49
Ciclo do Arroz	Mês	P2	A	%P2-A	B	%P2-B	AA	%P2-AA	BA	%P2-BA
Primeiro	dez/02	1,E+05	5,E+02	99,57	4,E+03	96,36	1,E+02	99,89	1,E+03	98,66
	jan/03	3,E+03	8,E+01	96,67	5,E+02	81,00	2,E+01	99,17	6,E+02	74,67
	fev/03	8,E+03	5,E+01	99,33	5,E+02	93,61	6,E+02	92,17	3,E+02	96,33
Média Total		1,E+04	1,E+02		4,E+01		1,E+02		6,E+02	
Remoção (%)				98,75		90,33		98,85		99,66
Segundo	mar/03	2,E+05	1,E+02	99,94	2,E+02	99,87	4,E+01	99,97	1,E+01	99,99
	abr/03	1,E+05	7,E+01	99,93	1,E+03	98,90	1,E+01	99,99	7,E+02	99,32
	mai/03	3,E+04	1,E+01	99,96	5,E+02	98,49	4,E+00	99,99	3,E+02	99,20
	jun/03	3,E+04	3,E+01	99,89	2,E+02	99,28	0,E+00	100	7,E+02	97,53
Média Total		6,E+04	4,E+01		4,E+02		1,E+01		2,E+02	
Remoção (%)				99,93		98,71		99,93		99,34

A: TUC com substrato areia B: TUC com substrato brita AA: TUC com substrato areia e plantação de arroz BA: TUC com substrato brita e plantação de arroz AT: TUC com substrato areia e plantação de *Typha spp* BT: TUC com substrato de brita e plantação de *Typha spp* P2: Água do córrego (afluente). *Os valores médios se referem às três repetições.

Na Tabela 5.8 estão as concentrações de BF⁺ nos efluentes das TUCs. Na concentração de BF⁺ nos efluentes das TUCs com cultivo de *Typha spp* no substrato de areia e das TUCs controles (substrato areia) não houve diferença estatística ao aplicar o teste de Turkey. No sistema de tratamento da TUC com *Typha spp* cultivado no substrato de areia a planta possivelmente não influenciou na remoção de BF⁺; provavelmente o fator físico do processo de filtração foi mais intenso devido à porosidade da areia, não havendo necessidade da vegetação.

Entretanto, analisando a concentração do efluente das TUCs com substrato de brita, a remoção nas TUCs com *Typha ssp* (99,49%) foi maior que as TUCs controle que tiveram remoção de 98,09%.

Indicando influência da planta foi confirmado através do teste de Turkey os dados da concentração BF⁺ que difere estatisticamente a nível de 5%, as TUCs controles das TUCs vegetadas com *Typha ssp*.

Em ambos os ciclos do cultivo de arroz nas TUCs a remoção da Concentração de BF⁺ no efluente foram semelhantes às das TUCs controles com substrato areia. No primeiro cultivo a remoção foi de 98,76% e no segundo 99,93%.

Não se pode observar a influência da vegetação na remoção de bacteriófagos F-específicos, devido à atuação do substrato no processo adsorção e filtração, pois a areia possui partículas de pequenas dimensões por unidade de massa, ocasionando uma maior área específica superficial com biofilme para o tratamento. O teste de Turkey comprovou que não houve diferença estatística entre a concentração de BF⁺ no efluente das TUCs controles e das TUCs vegetadas com arroz.

Nas TUCs com cultivo de arroz na brita a remoção no primeiro ciclo foi de 99,66% e no segundo ciclo foi de 99,34%, enquanto que nas TUCs controles com substrato de brita foi de 90,336% no primeiro ciclo e de 98,71% no segundo; possivelmente houve atuação da planta de arroz na redução das concentrações de BF⁺. O substrato de brita possui menor área específica superficial por unidade de massa do que a areia; provavelmente menor quantidade de biofilme para o tratamento do afluente deixando que a planta auxilie na remoção das concentrações de BF⁺ no sistema.

5.1.9- Remoções dos Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos ao longo de todo o período experimental nas terras úmidas construídas (valores médios de 9 meses de funcionamento)

A Tabela 5.9 mostra um resumo das percentagens de remoção dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos analisados no diversos tratamentos com terras úmidas construídas em um sistema experimental na AESA/DEC/CCT/UFCG.

Tabela 5.9 – Resumo das remoções dos parâmetros físico-químico e microbiológico no sistema de terras úmidas construídas da AESA/DEC/CCT/UFCG ao longo do período experimental (outubro/2002 a junho/2003)

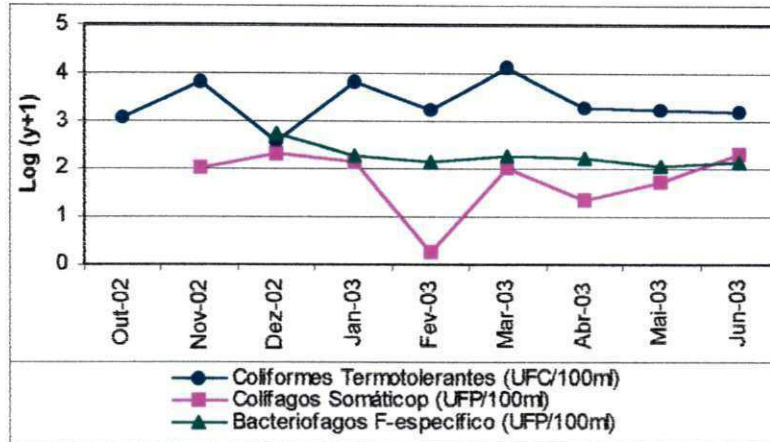
Parâmetros	% Remoção				% Remoção				% Remoção			
	<i>Typha ssp</i>				1º Ciclo Arroz				2º Ciclo do Arroz			
	A	AT	B	BT	A	AA	B	BA	A	AA	B	BA
pH												
Fósforo Total	27,2	39,1	30,6	53,24	36,9	40,4	36,1	43,4	9,8	43,7	20,8	26,3
Ortofosfato	16,6	48,3	18,95	50,8	30,2	62,0	22,9	24,8	-4	56,7	13,1	26,9
DBO ₅	85	90,3	88,4	87,8	85,4	78,5	86,7	81,8	84,6	84,28	90,0	83,24
DQO	23,2	11,46	13,32	-35,0	16,8	3,35	14,83	5,17	31,2	35,3	11,5	3,6
Coliformes Term.	89,73	99,77	98,17	99,62	99,33	98,58	97,88	97,57	83,3	99,57	98,08	97,66
Colifágos Somáticos	99,87	99,85	98,86	99,33	99,91	99,84	99,37	99,20	99,8	99,96	97,6	97,51
Bacteriófagos F-específicos	99,77	99,78	98,08	98,84	99,50	99,38	95,86	99,82	99,8	99,79	98,23	99,88

A: TUC com substrato areia B: TUC com substrato brita AA: TUC com substrato areia e plantação de arroz BA: TUC com substrato brita e plantação de arroz AT: TUC com substrato areia e plantação de *Typha ssp* BT: TUC com substrato de brita e plantação de *Typha ssp* P2: Água do córrego (afluente).

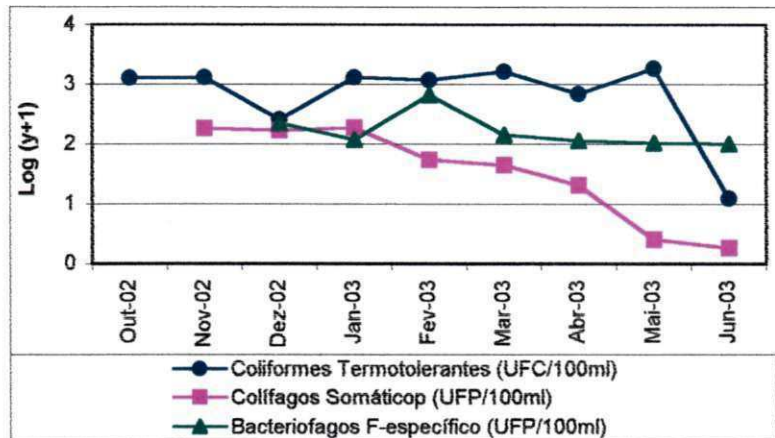
Em todos os parâmetros estudados das TUCs houve mais remoções no efluente do que no afluente, exceto na DQO. As terras úmidas foram utilizadas como tratamento primário para o afluente que é de um córrego contaminado com esgoto.

Pode-se observar também a distribuição (singular) temporal das concentrações de coliformes termotolerantes, colifágos somáticos (CS) e bacteriófagos F-específicos (BF⁺) no sistema de terras úmidas construídas em ambos os substratos, areia e brita, nas Figuras 5.1 e 5.2.

(a) Substrato Areia



(b) Substrato Areia com Arroz



(c) Substrato Areia com *Typha ssp*

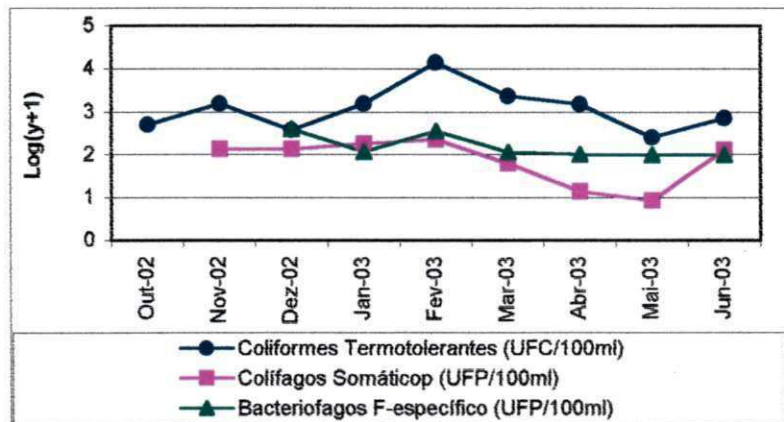


Figura 5.1 – -Evolução temporal de Coliformes Termotolerantes (CTerm), Colifagos Somáticos (CS) e Bacteriófagos F-específico (BF⁺) nos efluentes das terras úmidas construídas com substrato de areia (são valores médios de três repetições).

Conforme mostra a Figura 5.1 a distribuição dos coliformes termotolerantes, colifagos somáticos e de bacteriófagos F-específicos durante o período do experimento, as concentrações dos CTerm sempre foram as maiores, seguidas pelas concentrações dos BF⁺ e dos CS. Este comportamento foi semelhante em todos os tipos de tratamento com TUCs com o substrato de areia (vegetadas com arroz ou *Typha ssp* e controles).

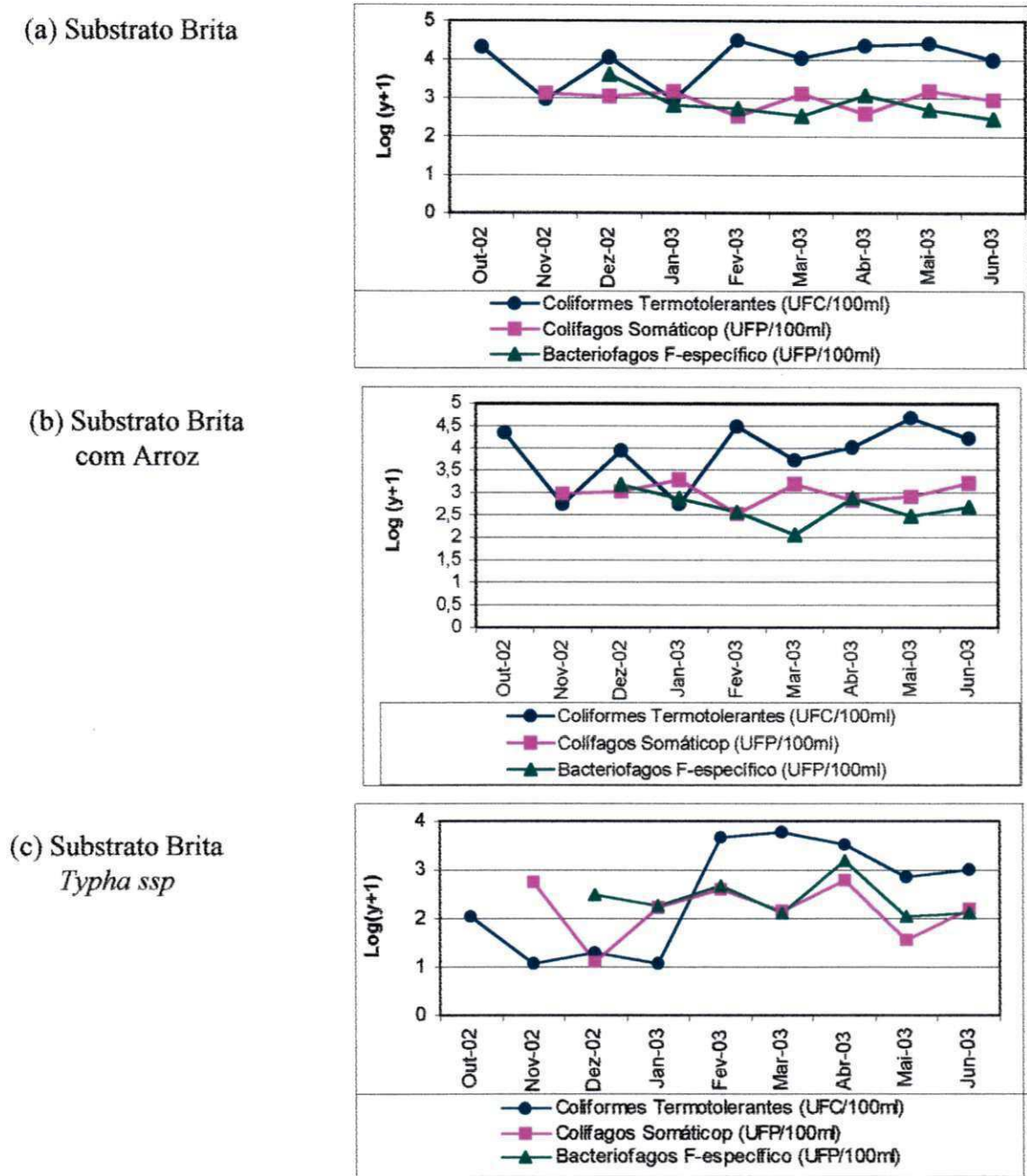


Figura 5.2 – Evolução temporal de Coliformes Termotolerantes (CTerm), Colifágos Somático (CS) e Bacteriófago F-específico (BF⁺) nos efluentes das terras úmidas construídas com o substrato brita (são valores médios de três repetições).

A Figura 5.2 evidencia que nas TUCs com substrato de brita e *Typha ssp* as concentrações de CS e BF⁺ foram muito semelhantes durante todo estudo, e as concentrações de CTerm mantiveram-se menores do que as concentrações dos CS e dos BF⁺, nos quatro primeiros meses (outubro/02 a janeiro/03), mas teve valores superiores nos últimos cinco meses (fevereiro/03 a junho/03) no tratamento da TUC com *Typha ssp*

cultivada no substrato de brita. Provavelmente o aumento da zona radicular e o crescimento do biofilme favoreceram a retenção das bactérias (Meira *et al.*, 2002).

Contudo, nas outras TUCs com substrato de brita (vegetadas com arroz e os controles) o comportamento da distribuição temporal permaneceu constante, as concentrações de CTerm foram maiores do que os CS e os BF⁺.

5.2 – Evolução Temporal da Fitomassa

5.2.1 – Evolução do Crescimento da Fitomassa da *Typha ssp*

A Tabela 5.10 apresenta a evolução temporal do crescimento, altura da fitomassa, da *Typha ssp* cultivada no substrato de areia e brita ao longo do período experimental.

Tabela 5.10 – Evolução do crescimento da altura das plantas de *Typha ssp* durante o período experimental

Cultivo de <i>Typha ssp</i> Substrato Brita		
Período do Ano	Substrato Areia (cm)	Substrato de Brita (cm)
Out/2002	0,00	0,00
Nov/2002	34,67	52,67
Dez/2002	131,20	166,43
Jan/2003	143,57	145,30
Fev/2003	174,60	160,00
Mar/2003	177,67	162,67
Abr/2003	183,67	191,33
Mai/2003	187,33	199,00
Jun/2003	187,66	199,20

A Tabela 5.10 demonstrou as *Typha ssp* cultivadas no substrato de brita apresentam desenvolvimento nas alturas eram mais significativas do que as *Typha ssp* cultivadas no substrato de areia. A parte aérea (massa verde) da *Typha ssp* cultivada no substrato de brita teve o peso de 10,9 kg enquanto que a cultivada no substrato de areia foi de apenas 8,5kg. Durante o crescimento e a reprodução das plantas o fósforo é absorvido pelas raízes e transferido para as regiões de crescimento (folhas) (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

A Figura 5.3 apresenta o desenvolvimento (altura) dos dois cultivos de *Typha ssp* nas terras úmidas construídas com substrato de areia e com substrato de brita e as concentrações de fósforo total no afluente e nos efluentes das terras úmidas.

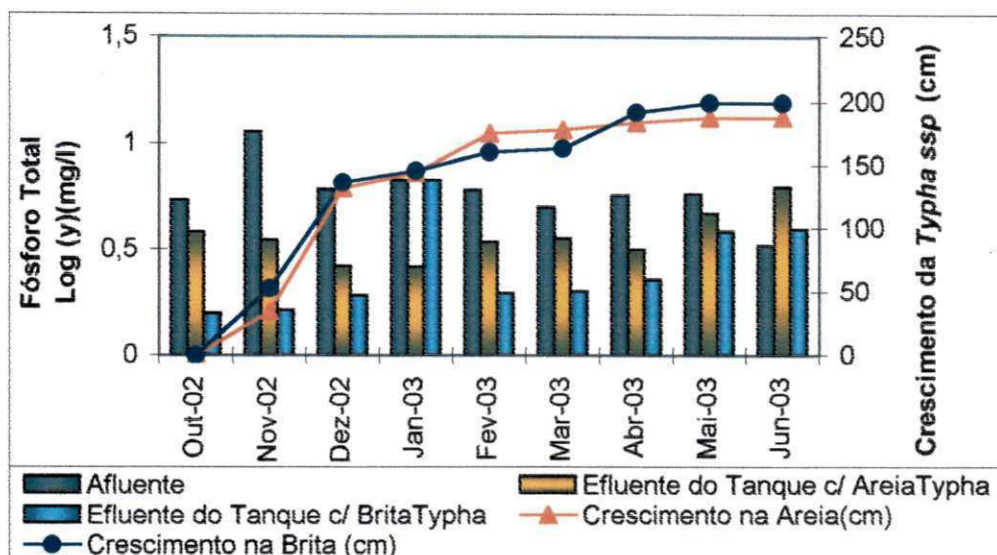


Figura 5.3 - Comparação das concentrações de fósforo total no afluente e nos efluentes das terras úmidas construídas com cultivo de *Typha ssp* em ambos os substratos (areia e brita).

A concentração de fósforo total nos efluentes sempre foi menor do que a concentração no afluente como pode ser observado na Figura 5.3. A concentração de fósforo total (PT) começou a ser reduzida com o desenvolvimento da *Typha ssp*, contudo a absorção não foi intensa por parte da planta no período de amadurecimento; provavelmente, o desenvolvimento e constituição dos tecidos vegetados encontrar-se numa fase estacionária de crescimento (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

Nas TUCs com cultivo de *Typha ssp* no substrato de brita as concentrações de fósforo total no efluente geralmente foram menores do que as concentrações nas TUCs com cultivo de arroz. Este sistema removeu uma maior quantidade de fósforo e o resultado pode estar relacionado com o maior desenvolvimento das raízes da *Typha ssp* no substrato de brita. O maior desenvolvimento das raízes proporciona um maior contato com o afluente, que facilita as condições para a precipitação, a maior adsorção de fósforo e o maior desenvolvimento da biomassa verde e radicular.

A Figura 5.4 apresenta o desenvolvimento (altura) dos dois cultivos de *Typha ssp* nas TUC com substratos de areia e com substrato de brita e as concentrações orto-P no afluente e nos efluentes das mesmas.

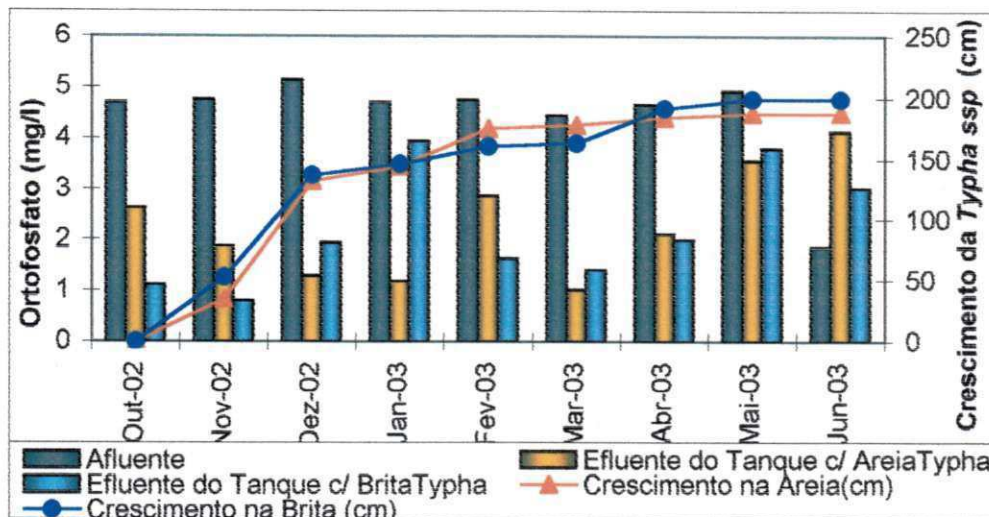


Figura 5.4 - Comparação das concentrações de ortofosfato no afluente e nos efluentes das terras úmidas construídas com cultivo de *Typha ssp* em ambos os substratos (areia e brita).

A Figura 5.4 constata que a concentração de ortofosfato nos efluentes tratados pelas TUCs com cultivo *Typha ssp* no substrato de areia e no substrato de brita.

As remoções de ortofosfato foram mais intensas no período de crescimento e desenvolvimento da *Typha ssp*, pois esta forma de fósforo é absorvido facilmente pela planta para constituir os novos tecidos (Malavolta, Vitti e Oliveira, 1997).

5.2.2 – Evolução do Crescimento da Fitomassa do Arroz (*Oryza sativa*)

A Tabela 5.11 apresenta a evolução temporal do crescimento da fitomassa do arroz com substrato de areia e brita nos dois ciclos de arroz.

Tabela 5.11 – Evolução do crescimento da altura das plantas de arroz durante o período experimental

Período do Ano	Cultivo de Arroz			
	Substrato de Areia (cm)		Substrato de Brita (cm)	
	1º Ciclo	2º Ciclo	1º Ciclo	2º Ciclo
Out/2002	15,00		15,00	
Nov/2002	26,00		30,67	
Dez/2002	37,81		48,40	
Jan/2003	57,67		62,73	
Fev/2003	71,00	20,00	72,00	20,00
Mar/2003		26,00		26,33
Abr/2003		63,67		67,33
Mai/2003		66,00		72,33
Jun/2003		69,67		73,00

O acompanhamento da altura do crescimento das plantas de arroz, na Tabela 5.11, foi semelhante entre os ciclos do arroz e também não houve diferença na altura das plantas cultivadas no substrato de areia e nas plantas cultivadas no substrato de brita.

O desenvolvimento dos dois ciclos do arroz cultivados nas terras úmidas com substrato de areia e com substrato de brita pode ser observado na Figura 5.5, juntamente com a concentração de PT do afluente e dos efluentes.

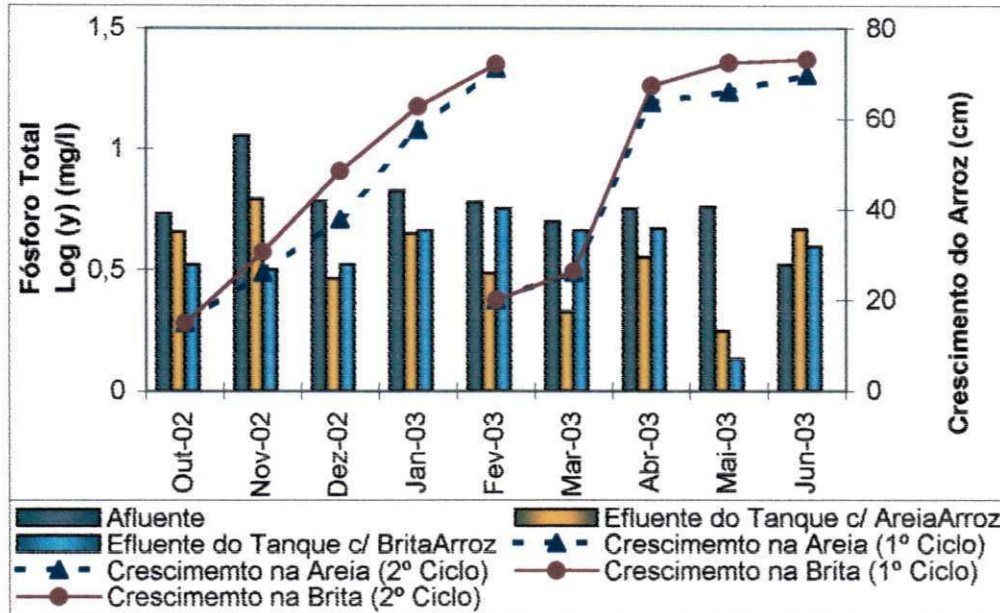


Figura 5.5 – Comparação das concentrações de fósforo total no afluente e nos efluentes das terras úmidas construídas com cultivo de arroz com ambos os substratos, areia e brita.

Ao longo do primeiro ciclo de desenvolvimento do arroz nas TUCs com substrato de brita foram apresentados concentrações de PT menores do que no segundo ciclo. O primeiro ciclo removeu mais PT (Figura 5.10). Conseqüentemente, no primeiro ciclo houve maior desenvolvimento da parte aérea (cerca de $4,575 \pm 0,286\text{kg}$) e os grãos de arroz pesaram $457,4 \pm 127,0\text{g}$, e no segundo ciclo de arroz a parte aérea pesou $2,42 \pm 0,43\text{kg}$ e os grãos $164,87 \pm 20,5\text{g}$.

Não houve diferença das concentrações de PT nos efluentes das terras úmidas construídas com cultivo de arroz no substrato de areia entre o primeiro e o segundo ciclos. Contudo, no primeiro ciclo, a produtividade de arroz foi maior (cerca de $515,1 \pm 77,72\text{g}$) e a parte aérea teve $4,731 \pm 0,238\text{kg}$, enquanto que no segundo ciclo do cultivo foi de $243,1 \pm 12,3\text{g}$ nos pêndulos de arroz e $2,55 \pm 0,04\text{kg}$ na parte aérea.

As raízes foram as que mais se desenvolveram neste segundo ciclo, formando uma massa de $8,52 \pm 0,05$ kg para as plantas cultivadas no substrato de brita e de $8,55 \pm 0,54$ kg para as plantas cultivadas na areia, enquanto que no primeiro ciclo as raízes no substrato de brita pesaram $4,3 \pm 0,24$ kg e no substrato de areia $5,63 \pm 0,69$ kg.

O desenvolvimento dos dois ciclos do arroz cultivados nas terras úmidas com substrato de areia e substrato de brita é observado na Figura 5.6, juntamente com a concentração de orto-P do afluente e dos efluentes.

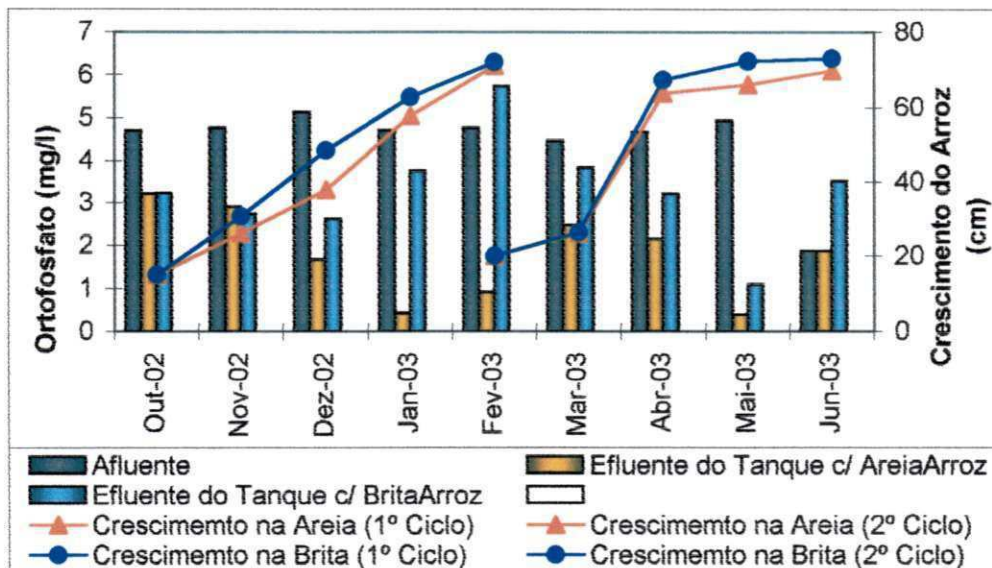


Figura 5.6 – Comparação das concentrações de ortofosfato no afluente e nos efluentes das terras úmidas construídas com cultivo de arroz com ambos os substratos, areia e brita.

No tratamento do afluente através da TUC com cultivo de arroz (*Oryza sativa*) no substrato de areia e no substrato de brita também houve redução de ortofosfato em ambos os ciclos do arroz, como se pode observar na Figura 5.6.

5.3 – Contaminação da Parte Aérea das Culturas

5.3.1 – Contaminação da Parte Aérea da *Oryza Sativa* com Coliformes Termotolerantes e *E. coli*

A Tabela 5.12 e 5.13 apresenta os resultados de contaminação da parte aérea do arroz (*Oryza sativa*) cultivado nas TUC.

Tabela 5.12 – Concentrações de coliformes termotolerantes na parte aérea do arroz (1ºCiclo) cultivado nas terras úmidas construídas

Tratamento TUC substrato/vegetação.	Amostras	CTerm (NMP/g)	Média Geométrica (NMP/g)	<i>E. coli</i> (NMP/g)	Média Geométrica (NMP/g)
Brita/Arroz	BA1	5,0E+04	8,94E+04	0	ND
	R-BA1	1,6E+05		0	
Brita/Arroz	BA2	8,0E+05	1,50E+05	0	ND
	R-BA2	2,8E+04		0	
Brita/Arroz	BA3	2,0E+05	2,00E+05	0	ND
	R-BA3	2,0E+05		0	
Média Geométrica			1,46E+05		
Areia/Arroz	AA1	2,0E+05	1,79E+05	4	4,00
	R-AA1	1,6E+05		4	
Areia/Arroz	AA2	2,2E+04	2,48E+04	0	ND
	R-AA2	2,8E+04		0	
Areia/Arroz	AA3	1,6E+05	1,20E+05	2	ND
	R-AA3	9,0E+04		0	
Média Geométrica			1,08E+05		1,33

AA1: Terra úmida construída com substrato de areia e cultivo de arroz, AA2: Terra úmida construída com substrato de areia e cultivo de arroz, AA3: Terra úmida construída com substrato de areia e cultivo de arroz. BA1: Terra úmida construída com substrato de brita e cultivo de arroz. BA2: Terra úmida construída com substrato de brita e cultivo de arroz. BA3: Terra úmida construída com substrato de brita e cultivo de arroz. (R=repetição) ND: Não Detectado

Tabela 5.13– Concentrações de coliformes termotolerantes na parte aérea do arroz (2ºCiclo) cultivado nas terras úmido construídas

Tratamento TUC substrato/vegetação.	Amostras	CTerm (NMP/g)	Média Geométrica (NMP/g)	<i>E. coli</i> (NMP/g)	Média Geométrica (NMP/g)
Brita/Arroz	BA1	1,8E+06	1,90E+06	0	0,00
	R-BA1	2,0E+06		4	
Brita/Arroz	BA2	2,0E+06	2,00E+06	2	2,83
	R-BA2	2,0E+06		4	
Brita/Arroz	BA3	2,0E+06	2,00E+06	0	ND
	R-BA3	2,0E+06		0	
Média Geométrica			1,97E+06		0,94
Areia/Arroz	AA1	2,4E+07	9,30E+06	0	0,00
	R-AA1	3,6E+06		4	
Areia/Arroz	AA2	2,2E+05	2,10E+05	0	ND
	R-AA2	2,0E+05		0	
Areia/Arroz	AA3	2,8E+06	3,13E+06	2	2,00
	R-AA3	3,5E+06		2	
Média Geométrica			4,21E+06		0,67

AA1: Terra úmida construída com substrato de areia e cultivo de arroz, AA2: Terra úmida construída com substrato de areia e cultivo de arroz, AA3: Terra úmida construída com substrato de areia e cultivo de arroz. BA1: Terra úmida construída com substrato de brita e cultivo de arroz. BA2: Terra úmida construída com substrato de brita e cultivo de arroz. BA3: Terra úmida construída com substrato de brita e cultivo de arroz. (R=repetição) ND: Não Detectado

As Tabelas 5.12 e 5.13 apresentam os resultados da análise para a verificação da contaminação fecal na parte aérea da planta do arroz através dos parâmetros CTerm e *E. coli*. Verificando se os resultados da contaminação fecal da parte aérea da planta não houve

diferença entre os ciclos do arroz, segundo o teste de Turkey em nível de 5%. Entretanto, deve-se destacar que no segundo ciclo as concentrações foram maiores (de 10^5 para 10^6 NMP/g) para os coliformes termotolerantes.

O nível de concentração C Term na parte aérea da planta do arroz foi alto, contudo a confirmação da concentração de contaminação fecal com o número de *E. coli* foi baixo. Segundo Ceballos (2000), das bactérias que compõem os coliformes termotolerantes a *E. coli* é a única de origem exclusivamente fecal, pois as outras bactérias (*Klebsiella*, *Citrobacter* e *Enterobacter*) podem estar presentes também no meio ambiente.

5.3.1 – Contaminação da Parte Aérea da *Typha ssp* com Coliformes Termotolerantes e *E. coli*

A Tabela 5.14 apresenta os resultados de contaminação da parte aérea da *Typha ssp* cultivados nas TUCs

Tabela 5.14 – Concentrações de coliformes termotolerantes na parte aérea da *Typha ssp* cultivados nas terras úmidas construídas

Tratamento TUC substrato/vegetação.	Amostras	C Term (NMP/g)	Média Geométrica (NMP/g)	<i>E. coli</i> (NMP/g)	Média Geométrica (NMP/g)
Brita/ <i>Typha ssp</i>	AT1	1,1E+02	9,38E+01	0	ND
	R-AT1	8,0E+01		0	
Brita/ <i>Typha ssp</i>	AT2	9,0E+02	4,24E+04	2	2,83
	R-AT2	2,0E+06		4	
Brita/ <i>Typha ssp</i>	AT3	1,1E+02	7,42E+01	0	ND
	R-AT3	5,0E+01		0	
Média Geométrica			1,42E+04		0,94
Brita/ <i>Typha ssp</i>	BT1	9,0E+03	1,24E+04	0	ND
	R-BT1	1,7E+04		0	
Brita/ <i>Typha ssp</i>	BT2	1,3E+05	1,30E+05	0	0,00
	R-BT2	1,3E+05		2	
Brita/ <i>Typha ssp</i>	BT3	2,2E+01	1,69E+01	0	ND
	R-BT3	1,3E+01		0	
Média Geométrica			4,75E+04		0,00

AT1: Terra úmida construída com substrato de areia e cultivo de *Typha ssp*, AT2: Terra úmida construída com substrato de areia e cultivo de *Typha ssp*, AT3: Terra úmida construída com substrato de areia e cultivo de *Typha ssp*. BT1: Terra úmida construída com substrato de brita e cultivo de *Typha ssp*. BT2: Terra úmida construída com substrato de brita e cultivo de *Typha ssp*. BT3: Terra úmida construída com substrato de brita e cultivo de *Typha ssp*. (R=repetição) ND: Não Detectado

A Tabela 5.14 demonstra que as *Typha ssp* cultivadas nas TUCs também obtiveram resultados da contaminação fecal da parte aérea semelhante aos das plantas de arroz: alta concentração de CTerm e baixo número de *E. coli*.

Um fator importante, que contribuiu para diminuir a contaminação fecal da parte aérea é o tipo de alimentação do sistema, que ocorre de forma subsuperficial, não deixando as águas residuárias entrarem em contato com a parte aérea da planta. Contudo a forma mais viável de explicar a alta contaminação com coliformes termotolerantes observada na parte aérea de poeiras ambientais e aerossóis, e pelo campo experimental foi montado próximo ao córrego.

5.4 - Distribuição de Fósforo Total no Sistema de Terras Úmidas Construídas

Em contraste com outros nutrientes (N e C) o fósforo (P) não se encontra na fase gasosa nos ciclos bioquímicos (Gruneberg e Kern, 2000). Conseqüentemente, o fósforo é retido no sistema de TUC: no substrato, através dos processos adsorção e precipitação, e na biomassa cultivada. Com base neste conceito foi iniciado um estudo da distribuição de fósforo total no sistema de Terras Úmidas Construídas na AESA/DEC/CCT/UFCG verificando a sua quantificação no afluente e no efluente, no substrato e nas plantas cultivadas durante os nove meses de estudo.

As Tabelas 5.15, 5.16 e 5.17 mostram a concentração de fósforo total que entrou no sistema de terras ao longo de nove meses de estudo para as TUCs de controle e as TUCs vegetadas com *Typha ssp* e com arroz.

As raízes da *Typha ssp* encontravam-se no sistema a quatorze meses antes deste estudo começar devido ao trabalho de Meira (2004). Então, a distribuição de fósforo acumulada pelas raízes teve por base um modelo linear para os nove meses de estudo (Equação 5.1).

$$P_{Typha.9meses} = \frac{P_{Typha.23meses} \times 9meses}{23meses} \quad (5.1)$$

$P_{Typha.23meses}$ = Acúmulo de fósforo total nas raízes da *Typha ssp* durante 23 meses

$p_{Typha.9meses}$ = Acúmulo de fósforo total nas raízes da *Typha ssp* durante 9 meses

O valor de $P_{(Typha\ 9meses)}$ corresponde ao acúmulo de PT armazenado na raiz da *Typha ssp* durante os 9 meses do experimento. O mesmo critério foi seguido para fazer o cálculo da carga de PT para os substratos de areia e de brita.

Tabela 5.15 – Quantidade de fósforo total nas terras úmidas com substrato de areia (controles)

Terras Úmidas com Substrato de Areia	Entrada de PT		Saída de PT		PT retido no sistema TUC	
	Afluyente (g-P)	Efluente (g-P)	Substrato (g-P)	Plantas (g-P)		
A1	13,41	6,15	4,75 ± 0,07	-	-	
A2	13,41	7,15	4,00 ± 0,01	-	-	
A3	13,41	2,36	3,96 ± 1,88	-	-	
Média	13,41	5,22±2,53	4,24 ± 0,44			

A1: TUC com substrato de areia (controle 1), A2: TUC com substrato de areia (controle 2), A3: TUC com substrato de areia (controle 3).

Tabela 5.16 – Quantidade de fósforo total nas terras úmidas com substrato de areia e cultivo de arroz

Terras Úmidas com Substrato de Areia	Entrada de PT		Saída de PT		PT retido no sistema TUC	
	Afluyente (g-P)	Efluente (g-P)	Substrato (g-P)	Planta de Arroz		
				Raiz	Parte Aérea	
AA1	13,41	5,91	5,94 ± 2,82	1,62 ± 0,13	5,17 ± 0,29	
AA2	13,41	4,42	5,15 ± 0,72	2,90 ± 0,08	6,65 ± 0,71	
AA3	13,41	1,07	6,56 ± 6,36	3,08 ± 0,12	4,43 ± 0,05	
Média	13,41	3,80±2,48	5,88 ± 0,71	2,53 ± 0,80	5,42 ± 1,13	

AA1: TUC com substrato de areia e cultivo de arroz, AA2: TUC com substrato de areia e cultivo de arroz, AA3: TUC com substrato de areia e cultivo de arroz.

Tabela 5.17 – Quantidade de fósforo total nas terras úmidas com substrato de areia e cultivo de *Typha ssp*

Terras Úmidas com Substrato de Areia	Entrada de PT		Saída de PT		PT retido no sistema TUC	
	Afluyente (g-P)	Efluente (g-P)	Substrato (g-P)	Planta da <i>Typha ssp</i>		
				Raiz	Parte Aérea	
AT1	13,41	2,51	5,83	0,15 ± 0,12	0,84 ± 0,22	
AT2	13,41	2,35	6,98	0,44 ± 0,18	0,47 ± 0,44	
AT3	13,41	7,86	6,40	0,61 ± 0,15	0,68 ± 0,16	
Média	13,41	4,24 ± 3,14	16,39 ± 1,2	0,40 ± 0,23	0,66 ± 0,19	

AT1: TUC com substrato de areia e cultivo de *Typha ssp*, AT2: TUC com substrato de areia e cultivo de *Typha ssp*, AT3 TUC com substrato de areia e cultivo de *Typha ssp*.

Na análise com o teste de Turkey pode-se constatar que não houve diferença estatística significativa da concentração de PT no efluente e no substrato de areia entre as três terras úmidas de controle. O mesmo ocorreu nas TUCs com cultivo de arroz e *Typha ssp*, a nível de 5%.

A Figura 5.7 apresenta a distribuição de fósforo total nas terras úmidas construída com substrato de areia para o tratamento do afluyente. Analisou-se com o teste de Turkey e foi constatado que não há diferença estatística significativa a nível de 5% entre as triplicatas das TUCs.

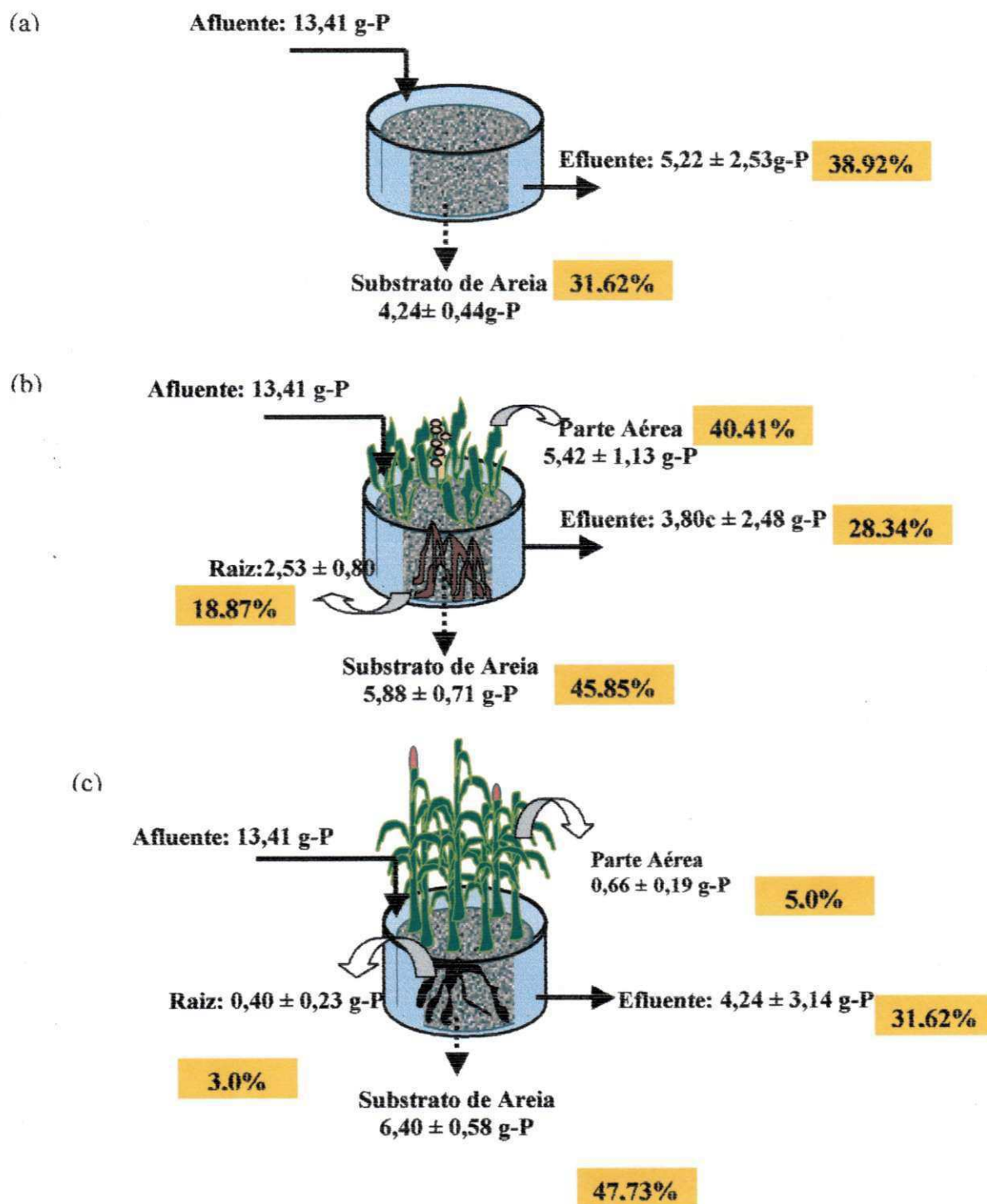


Figura 5.7 — Esquema da distribuição de fósforo total nas terras úmidas construídas na UFCG, com substrato de areia. (a) No sistema de TUC controles. (b) No sistema de TUC com cultivo de arroz. (c) No sistema de TUC com cultivo de *Typha ssp.*

Na Figura 5.7 verifica-se a distribuição de fósforo total para os três tipos de tratamento com terras úmidas construídas com substrato de areia. Observa-se que em todos os tratamentos foi removido quantidades de fósforo total, no efluente, tanto das TUCs que estavam com cultivo de plantas (arroz e *Typha ssp*) quanto das TUCs de controle.

Nas TUCs com cultivado arroz e também nas TUCs com o cultivo de *Typha ssp* a retenção da quantidade de fósforo total no substrato de areia foi maior do que nas TUCs controles. Mostrando assim a contribuição das plantas na remoção de fósforo total pela adsorção/absorção no sistema raiz/substrato/biofilme.

Durante a realização do experimento (os nove meses) nas TUC com substrato de areia, os dois ciclos de arroz retiveram na planta cerca de 5,42g-P e 2,53g-P (parte aérea e raiz), que correspondem ao total da quantidade acumulada pela planta do arroz, 59,28% do fósforo que entrou no sistema durante o estudo.

A retenção de fósforo na parte aérea da *Typha ssp*, cultivada no período de outubro/02 a junho/03, foi de 0,66 g-P, ou seja, 5%, e a quantidade de fósforo nas raízes foi de 0,40 g-P, que equivale a 3% de todo o fósforo que entrou no sistema, a quantidade total de fósforo por parte da planta da *Typha ssp* é de 8% durante os nove meses.

Além da distribuição do fósforo realizado nas TUCs com substrato de areia, foi realizado a distribuição de fósforo total nas TUCs com substrato de brita. Nas Tabelas 5.18, 5.19 e 5.20 encontram-se os dados de fósforo total do afluente, do efluente, do substrato e das plantas cultivadas em TUCs com leito de brita.

Tabela 5.18 – Quantidade de fósforo total nas terras úmidas com substrato de brita (controles)

Terras Úmidas com Substrato de Brita	ENTRADA DE PT	SAÍDA DE PT	PT RETIDO NO SISTEMA TUC	
	Afluente (g-P)	Efluente (g-P)	Substrato (g-p)	Plantas
B1	13,41	1,98	1,85 ± 0,12	-
B2	13,41	2,32	1,86 ± 0,10	-
B3	13,41	9,17	1,99 ± 0,03	-
Média	13,41	4,49	1,85 ± 0,00	

B1: TUC com substrato brita (controle 1), B2: TUC com substrato de brita (controle 2), B3: TUC com substrato de brita (controle 3).

Tabela 5.19 – Quantidade de fósforo total nas terras úmidas com substrato de brita e cultivo de arroz

Terras Úmidas com Substrato de Brita	ENTRADA DE PT	SAÍDA DE PT	PT RETIDO NO SISTEMA TUC		
	Afluente (g-P)	Efluente (g-P)	Substrato (g-p)	Arroz	
				Raiz	Parte Aérea
BA1	13,41	4,88	1,90 ± 0,05	5,33 ± 0,53	3,57 ± 0,05
BA2	13,41	6,54	1,89 ± 0,01	2,06 ± 0,12	3,05 ± 0,36
BA3	13,41	8,45	1,99 ± 0,33	4,52 ± 0,27	3,37 ± 0,29
Média	13,41	6,62 ± 1,79	1,93 ± 0,06	3,97 ± 1,70	3,33 ± 0,26

BA1:TUC com substrato brita e plantação de arroz. BA2:TUC com substrato brita e plantação de arroz. BA3:TUC com substrato brita e plantação de arroz.

Tabela 5.20 Quantidade de fósforo total nas terras úmidas com substrato de brita e cultivo de *Typha ssp*

Terras Úmidas com Substrato de Brita e <i>Typha ssp</i>	ENTRADA DE PT	SAÍDA DE PT	PT RETIDO NO SISTEMA TUC		
	Afluente (g-P)	Efluente (g-P)	Substrato (g-p)	<i>Typha ssp</i>	
				Raiz	Parte Aérea
BT1	13,41	4,84	2,15	0,91 ± 0,19	0,95 ± 0,38
BT2	13,41	4,67	2,26	0,79 ± 0,21	0,82 ± 0,19
BT3	13,41	0,92	2,26	0,75 ± 0,14	0,69 ± 0,50
Média	13,41	3,48 ± 2,22	2,22 ± 0,07	0,82 ± 0,08	0,82 ± 0,13

BT1: TUC com substrato de brita e plantação de *Typha ssp*. BT2: TUC com substrato de brita e plantação de *Typha ssp*. BT3: TUC com substrato de brita e plantação de *Typha ssp*.

Apesar dos valores das quantidades de fósforo total no substrato brita serem mais elevados nas TUCs vegetadas não houve diferença estatística segundo o teste de Turkey. A concentração de fósforo total no substrato de brita foi 3 vezes menor em relação a concentração no substrato de areia. Na Figura 5.8 apresenta a distribuição de fósforo total nas terras úmidas com substrato de brita.

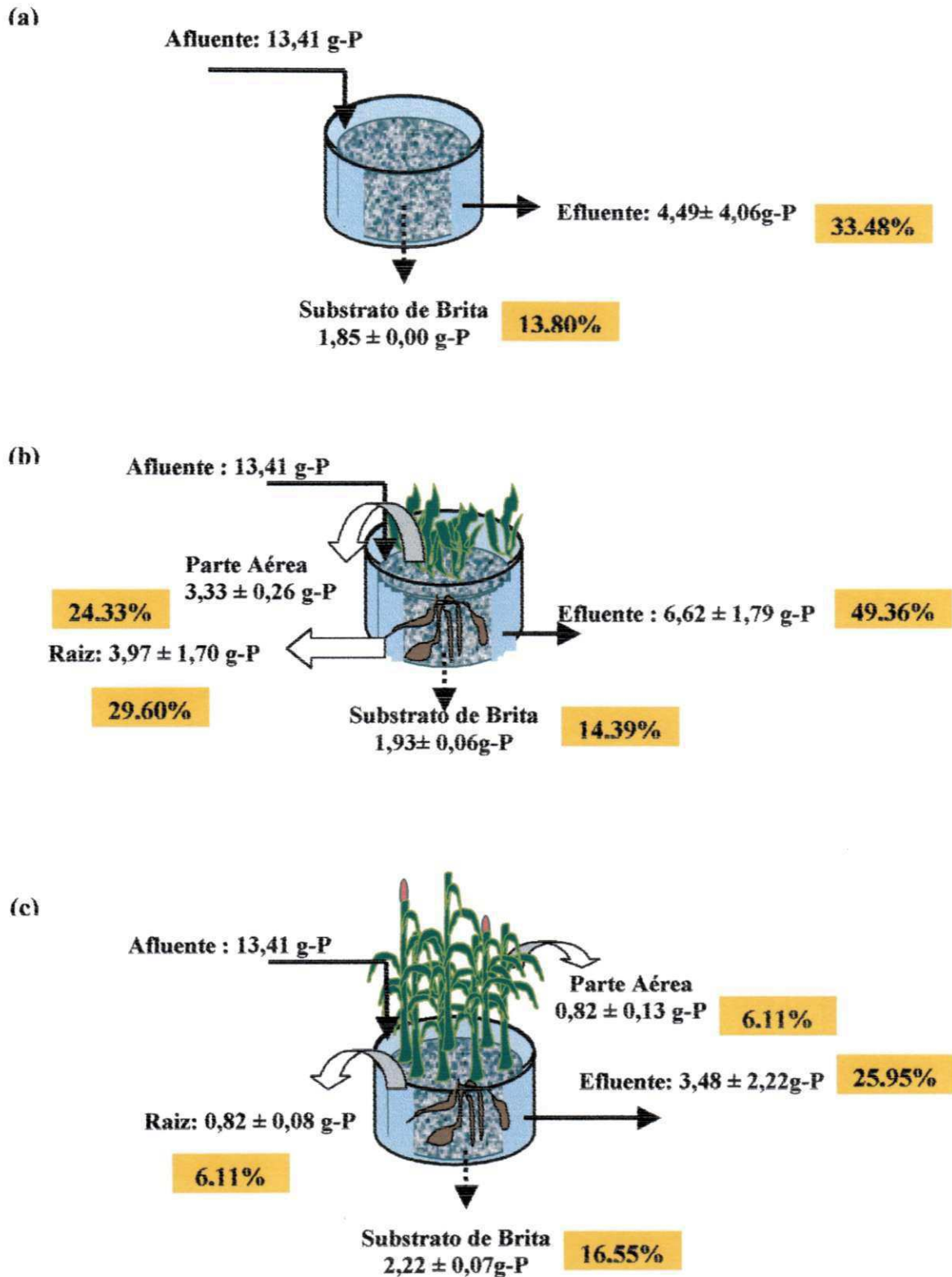


Figura 5.8 – Esquema da distribuição de fósforo total nas terras úmidas construídas na UFCG, com substrato de brita. (a) No sistema de TUC sem vegetação-controles. (b) No sistema de TUC com cultivo de arroz. (c) No sistema com cultivo de *Typha ssp.*

A Figura 5.8 apresenta a distribuição de fósforo total para os três tipos de tratamento com terras úmidas construídas no substrato de brita. Na TUC com plantação de arroz, nos dois ciclos, ficou retida a quantidade de fósforo total na planta 3,33 g-P na parte aérea e 3,97g-P na raiz que correspondem ao total de 53,93 % de todo o PT que entrou nas terras úmidas durante o período de estudo. A parte aérea da *Typha ssp* cultivada foi responsável pela retenção 0,82 g-P, ou seja, 6,11% e as raízes 0,82 g-P, que corresponde a 6,11%, somando um total de 12,22%.

Analisando a retenção de fósforo total por parte da *Typha ssp* em ambos os substratos armazenaram entre 8% e 12,22% da quantidade que entrou no sistema. Segundo a literatura, em outros tipos de TUCs estudadas a vegetação tem as menores taxas na remoção de fósforo total no tratamento (Klm e Gearry, 2000) e normalmente o fósforo na biomassa da planta tem uma fração insignificante em relação às cargas recebidas pelo sistema de esgoto, cerca de 5% (Brix,1997). Entretanto, neste experimento a remoção por parte da planta foi superior. A planta de arroz teve um papel fundamental na remoção de fósforo, pois a mesma armazenou acima de 50%, em ambos os substratos, durante os nove meses do experimento.

Analisando os valores de fósforo acumulado na fitomassa das plantas observa-se que a planta do arroz acumulou, nos dois ciclos, três vezes mais do que a planta da *Typha ssp*, em ambos os substratos apesar do sistema TUC com *Typha ssp* ter eficiência de remoção semelhante ou superior devido, a parte estrutural da planta ter contribuído nos processos de precipitação e sedimentação.

Observando a distribuição de fósforo total no substrato de areia e no substrato de brita a quantidade retida sempre foi maior nos substratos das TUCs com vegetação, demonstrando o processo adsorção/absorção ocorrido pelo sistema raiz/substrato/biofilme.

CAPITULO 6

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos ao longo de nove meses de estudos no segundo ano de funcionamento do sistema de terras úmidas construídas permitem concluir:

◆O sistema de terras úmidas, independente do tipo de vegetação e de substrato, apresentou remoções no efluente de fósforo total, ortofosfato, DBO₅, DQO, coliformes termotolerantes, colifágos somáticos e bacteriófagos F-específicos.

◆As terras úmidas com substrato de brita tiveram remoções no efluente fósforo total iguais ou superiores às terras úmidas com substrato de areia (TUC controles, TUC com arroz e TUC com *Typha ssp*).

- O efluente dos tanques com brita e *Typha ssp* tiveram maior remoção de fósforo total (53,24%).

◆AS TUCs vegetadas, independente do tipo de substrato, tiveram maiores remoções de ortofosfato no efluente.

◆As terras úmidas com substrato de areia tiveram maior eficiência na remoção no efluente dos parâmetros microbiológicos (coliformes termotolerantes, colifágos somáticos e bacteriófagos F-específicos)

-A vegetação das TUCs com substrato de areia aumentou a remoção de coliformes termotolerantes.

-O substrato areia foi mais eficiente na remoção de vírus no efluente.-Não foi observada influência da planta na remoção de CS e BF+ no efluente.

◆A baixa contaminação da parte aérea das plantas (*Oryza sativa* e *Typha ssp*) com *E.coli*. indica que a coleta oferece risco de saúde pública.

◆ O substrato de areia retém três vezes mais fósforo total que o substrato de brita

CAPITULO 7

SUGESTÕES

- ◆ Avaliar a eficácia da instalação desse sistema em residências, para que estudos futuros possam avançar na aplicação desse tratamento biológico em comunidades menos favorecidas economicamente, trazendo o reaproveitamento das águas residuárias.

- ◆ Divulgar este trabalho, assim como e conscientizar o poder público para a importância do tratamento das águas residuárias, extensiva à zona rural e da utilização do sistema de terra úmida.

- ◆ Melhorar o sistema de alimentação das TUCs através de dispositivos capazes de evitar entupimentos dos canais hidráulicos caso o afluente transporte materiais grosseiros.

- ◆ Estudar o balanço de fósforo total neste sistema de terra úmida construída.

CAPITULO 8

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allabaster, G.P. e Mills S. W. (1989). **A practical guide to the monitoring of waster stabilization pond performance**. ODA/Research on waster stabilization ponds. Nairobi.

APHA (1995). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th edition. Washington D.C. American Public Health Association..

Baptist J.D.C.; Donnelly T.; Rayne D. and Davenport, R.J. (2002). **Mechanism of carbon Removal in Subsurface Flow wetlands**. International Conference on wetland systems pollution Control, p.71-80.

Barrett E.C, Sobsey M.D., House C.H. and White K.D. (2000) **Microbial Indicator removal in on-site constructed wetlands for wastewater treatment in the southern as terns US**. Water Science & Technology. v.44.n.11.p.177-183.

Berg G.; Dahling D.R.; Brown G.A. and Berman D. (1978). **Validity of fecal, total coliforms and fecal streptococci as indicators of viruses in chlorine primary sewage effluents**..Appl. Environ. Microbiol. 36: 880-884.

-
- Branco, S. M. (1999). **Água, Meio Ambiente e Saúde**. In: Rebouças A. C., Braga B. e Tundisi J. G. **Águas Doces no Mundo e no Brasil**. Instituto de Estudos Avançados da USP. Academia brasileira de ciências. Editora Escrituras. São Paulo, SP. p.227-147
- Brandão A. J. (1975). **Botânica: Introdução à Taxonomia Vegetal**. Companhia Editora Nacional-Editora Universitária de São Paulo, SP.2ª edição.v.4.p.715-716
- Brix H. (1997). **Do Macrophytes play a role in constructed treatment wetlands?** Water Science & Technology. v.35.n.5.p.11-17
- Brix H.; Arias C. A. and Bubba M. del. (2000). **Media selection for sustainable phosphorus removal in subsurface flow constructed wetlands**. Water Science & Technology. V. 44, n.11/12, p.47-54
- Ceballos B.S.O. (2000). **Microbiologia sanitaria y ambiental**. IN: MENDONÇA, S.R.; **Sistema de lagunas de estabilização**. Ed. McGRAW-HILL, Santa Fé de Bogotá, Colômbia. p.68-136.
- Comeau T.; Brisson J.; Réville J. P.; Forget C. and Drizo A. (2000). **Phosphorus removal in from constructed wetlands**. Water Science & Technology. V. 44. n.11. p.55-60
- Crites R.W. (1994). **Design criteria and practice for constructed wetlands**. Water Science & Technology. v.29.n.4.p.20-25.
- Debartolomeis J. & Cabelli V.I. (1991). **Evolution of an *Escherichi coli* host strain for enumeration of F-male- specific bacteriophage content of mammalian feces**. Appl. Environ. Microbiol. 32: p.68-74
- DeBusk T.A.; Dierberg F.E. and Reddy K.R. (2000). **The use of macrophyte-based systems for phosphorus removal: an overview of 25 years of research and operational results in Florida**. Water Science & Technology. V. 44. n.11.p.39-45

Dhillon T. S.; Chan Y. S.; Sun S. M. and Chau, W.S. (1970). **Distribution of coliphages in Hong Kong sewage.** Appl. Microbiol. 20: p.187-191.

Dhillon T. S.; Dhillon E. K. S.; Chau H.C.; Li W. K. and Tsang, A. H. C. (1976). **Studies on bacteriophage content of mammalian feces.** Appl. Environ. Microbiol 32: p. 68-74.

Drizo A., Frost C. A., Smirth K. A. and Grace J. (1997). **Phosphate and ammonium removal by constructed wetlands with horizontal subsurface flow, using shale as a substrate.** Water Science & Technology. v.35.n.5.p.95-102

Drizo A., Frost C. A., Smirth K. A. and Grace J. (2000). **Physico- chemical screening of phosphorus removing substrate for use in constructed wetlands systems.** Elsevier. Water Research 33. n.17.p.3595-3602.

Esteves F. (1999). **Fundamentos de limnologia - Interciência.** Rio de Janeiro, RJ. p. 575

Fèachem R. G., Bradley D. J., Garelick H. e Mara D. D. (1983). **Sanitation and disease health aspects of excreta and wastewater management.** Chichester: John Wiley & Sonas. p.501.

Fundcburg S. W. and Sorber C. A. (1983). **Colifagos as indicators of enteric viruses in activites sludge.** Elsevier. Water Receive.v1.n5.p547-553

Geller G. (1997) **Horizontal subsurface flow systems in the German Speaking Countries: Summary of log-term scientific and practical experiences, recommendations.** Water Science & Technology. v.35.n.5.p.157-174.

Gopal B. (1999). **Natural and constructed wetlands for wastewater treatment: potentials and problems.** Water Science & Technology. v.40.n.3.p.27-35

Gren M. B., Griffin P. and Seabridge J.K.D. (1997). **Removal of Bacteria in subsurface flow wetlands.** Water Science & Technology. v.35.n.5.p.109-116.

Greenway M. (1997). **Nutrient content of wetlandsplants in constructed wetlands receiving municipal effluent in tropical Austrália.** Water Science & Technology. v.35.n.5.p.135-142.

Greenway M. and Woolley A. (2000). **Changes in plant biomass and nutrient removal over 3 year in constructed wetlands in Cairns, Australia.** Water Science & Technology.v.n11.p.

Greenway M., Dale P. and Chapman H. (2003) **Na assesment of mosquitobreeding and control in four surface flow wetlands in tropical-subtropical Austrália.** Water Science & Technology. v.48.n.5.p.249-256.

Grüneberg B. and Kern J. (2000). **Phosphorus retention capacity of iron-ore and blast furnace slag I subsurface flow constructed wetlands.** Water Science & Technology. V.44. n.11. p.69-75.

Havelaar A. H. and Hogeboom W. M. (1984). **A method for the enumeration of male-specific bacteriophages in sewage.** J.Appl, Bacterol. 56: p439-447.

Havelaar A. H.; Furuse K.and Hogeboom W. M. (1986). **Bacteriophages and indicator bacteria in human and animal faces.** J.Appl. Bacteriol. 60: p 255-262.

Havelaar A. H.; Hogeboom W. M.; Furuse K.; Pot R. and Hormann M. P. (1990). **F-specific RNA bacteriophages and sensitive host strains in faces and wastewater of human and animal origin.** J. Appl. Bacteriol. 69: p. 30-37.

Headley T. R., Huett D. O. and Davison L. (2000). **The removal of nutrients from plant nursery irrigation run off in subsurface horizontal-flow wetlands.** Water Science & Technology.v.44.n.11.p.77-84.

Hench, K.R; Bissonmete G. K.; Sexstone A. J.; Coleman J. G.; Garbutt, K. e Skousen, J. G. (2003). **Fate op physical, chemical and microbial contaminats in domestic wastewater following treatment by small constructed wetlands.** Water Research 37. p 921-927.

Hill V. R. and Sobey M. D.(2000). **Removal of salmonella and microbial indicators in the construced wetland treating swine wastewater.** Water Science & Technology. v.44.n.11p.215-222.

Horan.J. (1990). **Biological Wastewater Treatment Systems Theory and Operation.** John Wiley & Sons Nova Yörk. p.46

lawpre Study Group On Health Related Water Microbiology. (1991). Bacteriophages as model viruses in water quality control. Water Res. 25: p.529-545

Ignazzitto G., Volterra L., Aulicino F. A. and D'Angelo A. M. (1980). **Coliphages as indicators in treatment plant.** Water Air. Soil Pollut 13.p.391-398

Kadlec R. H. (2000). **Termal environments of subsurface treatment wetlands.** Water Science & Technology.v.44.n11.p.251-258.

Kapiscak M.M., Sanchez L.R., Freitas R.J. and Gerba C.P. (2000). **Removal of bacteria indicators and pathogens from dairy wasterwater by a multicomponentes system.** Water Science & Technology. v.44.n.11.p.183-190.

Kansiline F. and Bruggen J.J.A. (2000). **Distribution and retention of fecal colliforms in the Nakivubo wetland in Kampala Uganda.** Water Science & Technology. v.44.n.11.p.183-190.

Keswick B. H., Satterwithlher T. K., Johnson P. C., DuPont S. I., Sccor S. I., Bitsura J. A., and Holt J.C. (1985). **Inativation of Norwalk virus in drinking water by chlorime.** Appl. Environ. Microbiol 50.p261-264

- King C.A.; Mitchell C.A. and Howes T. (1997). **Hydraulic Tracer Studies in a pilot Scale Subsurface flow Constructed Wetland**. Water Science & Technology. v.35.n.5.p.185-196.
- Klm S.Y. and Geary P.M. (2000). **The impact of biomass harvesting on phosphorus uptake by wetlands plants**. Water Science & Technology. v. 44. n.11. p.61-68
- Kott Y. (1992). **Wastewater updegrading as measured by coliphages**. Environ. Toxicol. Water. Quality 7. p.61-69
- Lim P.E., Mak K. Y., Mohamed N. e Md Noor A. (2003). **Removal and specialization of heavy metals along the treatment path of wastewater in subsurface-flow constructed wetlands**. Water Science & Technology. v.48.n.5.p.307-313.
- Lyons T. A., Conhen P.S. and Cabelli V. J. (1981). **R-plasmd acceptance and Transfer among fecal Escherichia coli**. Appl. Environ. Microbiol 41 p.959-965
- LaRiviere D. J., Autenrieth R. L. e Bonner J. S. (2003). **Redox dynamics during recovery of na oil-impacted estuarine wetland**. Water Research. pg 3307-33018.
- Malavolta E., Vitti G. C. e Oliveira S. A. (1997). **Avaliação do estado nutricional das plantas, princípios e aplicações**. Associação brasileira para pesquisa do potássio e do fosfato. 2ª edição. Piracicaba, SP.p.215.
- Mancuso, P.C.S. e Santos, H.F. **Reúso de Água**. Barveri, SP: Manoele, 2003. p.1-100
- Marques D.M.(1999). **Terras úmidas construídas de fluxo subsuperficial**. In: Campos J.R. **Tratamento sanitário por processos anaeróbios e disposição controlada do solo**. Rio de Janeiro, RJ: ABES/PROSAB.p.405.
- Mdano A. (2002). **Accumulation of nutrients and heavy metals in plants at Kagondo on natural wetlands**. International conference on wetlands Systems for Water Pollution Control.

Meira, C. M. B. S, Ceballos B.S.O., Oliveira H., Feijó V. G., König A. e Souza J.T. (2002). **Effect of macrophytes growth on phosphorus, ammonia, organic matter and bacteria removal in constructed wetland.** 5th International IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds-Pond for The New Millennium.

Meira, C. M. B. S. (2004). **Utilização de Terras Úmidas no Tratamento de Águas Superficiais Poluídas: Influência do Tipo de Leito e de Macrófita.** Tese de Doutorado da Universidade Federal de Campina Grande-PB. p 200.

Metcalf L. and Eddy H. P. (1991). **Wastewater engineering treatment disposal, reuse.** Mc Graw-Hill. 3th edition. New York. P.1335.

Obarska-Pempkowiak. H., Ozimek T. and Chmiel W. (2000). **Protection of surface water against contamination by wetlands systems in Poland.** Water Science & Technology. v.44.n.11.p.315-330.

O'Hogain S. (2003). **The desing, operation and performance of a municipal hybrid reed bed treatmente system.** Water Science & Technology. v.48.n.5.p.119-126

Oliveira, A. C. (2004). **A.Eficiência de Terras Úmidas Construídas Cultivadas com Arroz (*Oryza sativa*) e *Typha ssp* em Substrato de Areia e Brita no Tratamento de água Contaminada com Esgotos, Paraíba, Brasil.** Tese de Mestrado na Univesidade Federal de Campina Grande-PB. pg102

Osawa, S.; Furuse, K.; Watanabe, I. (1981). **Distribution of ribonucleic acid coliphagos in animais.** App. Environ. Microbiol 41: 164 – 168.

Ottavá V., Balcoravá J. and Vymazal J. (1997). **Microbial characteristes of constructed wetlands.** Water Science & Technology. v.35.n.5.p.117-123.

Pastor R., Benqlilou C., Paz D., Cardenas G., Espuña A. and Puigjaner L. (2002). **Design optimisation of constructed wetlands for wastewater treatment: Resources conservation & Recycling**. Elsevier Science B.V. p.193-204.

Pedroso D. M. M. (1993). **Fatores que podem interferir na detecção de colifágos, indicadores microbiológicos da qualidade de água**. Tese de mestrado do Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo-S.P

Pelczar M., Reid R. e Chan, E.C.S. (1991). **Microbiologia**. Editora McGraw-Hill do Brasil. V.II.p.1072.

Pio Côrrea M. (1984). **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Volume I. Imprensa Nacional. Rio de Janeiro, R.J.p.1080.

Pontier H., Wiliams J. B. and May E. (2003). **Behavior of metals associated with sediments in a wetlands based system for road runoff control**. Water Science & Technology. v.48.n.5.p.291-298.

Portaria Nº 36/GM, 19 de Janeiro de 1990. Ministério da Saúde do Brasil.

Portaria Nº 1469, 26 de dezembro de 2000. Ministério da Saúde do Brasil.

Rebouças A. C., Braga B. and Tundisi J. G. (1999). **Águas Doces no Brasil**. In: Rebouças A. C., Braga B. e Tundisi J. G. **Águas Doces no Mundo e no Brasil**. Instituto de Estudos Avançados da USP. Academia brasileira de ciências. Editora Escrituras. São Paulo, SP. p.1-36.

Reddy k. R. and D' Angelo E. M. (1997). **Biogeochemical indicators to evaluate pollutant removal efficiency in constructed**. Water Science & Technology. v.35.n.5.p.1-10

Richards, F., Warren A., Ramirez E., Decamp O., Bonilla P., Gallegos E., Calderón A. e Sanches J. T. (1997). **Removal of pathogens from wastewater by the root zone method (RZM)**. Water Science & Technology. London.v.32.n.3.p211-218

Rodrigues L.N.(2000).**Estresse salino da germinação, produção de mudas e produção de arroz irrigado**. Tese de mestrado do Departamento da UFCG. Campina Grande.PB

Salati E., Lemos H. M. and Salati E. (1999). **Água e Desenvolvimento Sustentável**. In: Rebouças A. C., Braga B. e Tundisi J. G. **Águas Doces no Mundo e no Brasil**. Instituto de Estudos Avançados da USP. Academia brasileira de ciências. Editora Escrituras. São Paulo, SP. p.39-289

Sawyer C. N.; Mc Carty P.L.; and Parkin G.N. (1994).**Chemistry for environmental engineering**. Mc. Graw-Hill, Inc. Sinagopore, 4th Edition. p.658

Shaw D.R. and Cabelli V.J. (1981). **Rplasmid transfer requecies from environmental *Escherichia coli* to laboratory and fecal strean**. Appl. Environ. Microbial 40.p.756-764

Silva N., Junqueira V. C. A. and Silveira N. F. A. (1997). **Manual de Métodos de análise microbiológica de alimentos**. Editora Varela. São Paulo-SP. p.

Sobrinho J.R. (2002). **Desempenho de um sistema wetlands no tratamento de um córrego afluente ao açude de bodocongó: segundo ano de funcionamento**. Tese de mestrado, Departamento de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal da Paraíba, campus II. Campina Grande, Pb.

Souza J.T e Leite V.D. **Tratamento e Utilização de Esgotos Domésticos na Agricultura** . 2^a. edição reformada e ampliada. EDUEP.pg 135

Sousa J.T., van Haandel A.C., Rogério P.S.C. e Valéria A.A.G.(2000). **Pós-tratamento de efluente de reator UASB utilizando sistemas “wetlands” construídos.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.n.1.p87-91

Standards methods for the examination of water and wastewater. (1995) 19th edition American Public Health Association. Washington D. C.USA. p.953

Stenström T. A. and Carlander A. (2000). **Occurrence and die-off indicator organisms in the sediment in two constructed wetlands.** Water Science & Technology. v.44.n.11.p.223-230.

Stott R. Willians J., Jenkins T., Ramirez E. and Warrem A. (2003). **Pathogen and parasite removal in wastewater treatment constructed wetlands.** International conference in wetland systems for water pollution control. Universidade of Dar es Salaam Tanzania.v.2.p.1207-1220.

Tanner, C. C. (1996). **Plants for Construted Wetland Treatmente Systems-A Comparison of the growth and nutrient uptake of eighth emergent species.** Ecological Engineering. Elsevier. pg 60-83

Tanner C.C., Long Nguyen M. e Sukias J.P.S.(2003). **Using constructed wetlands to tread subsurface drainage from intensively graze dairy pastures in New Zealand.** Water Science & Technology. v.48.n.05.pg.207-214.

Tedesco M.J., Gianello C., Bissani C.A. e Volkweiss S. J.(1995). **Análises de solo, plantas e outros Materiais.** Departamento de solos. Faculdade de Agronomia. Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.174p

Tortora, Funkc e Case (2000) **Microbiologia.** Editora Artmod. pg 321

Tundisi J.G. (2003). **Água no século XXI: Enfrentando a Escassez.** Editora Rina. São Carlos, SP. p.248

Val R.R.(1997). **Estudo da biodiversidade de colifágos somáticos isolados de ambientes aquáticos e de fezes humanas e de animais.** Tese de mestrado. Instituto de Ciências Biomédicas da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP.

Vymazal J. (1998). **Types of constructed wetlands treatment. Abstracts of the 6th International conference on wetland systems for water pollution control.** Águas de São Pedro, Brasil.p.2-3.

Vymazal J., Sladeczek V. and Stach J. (2000). **Biota participating in wastewater treatment in horizontal flow constructed wetland.** Water Science & Technology. v.44.n.11.p.211-214.

Weedson C.M. (2003). **Compact vertical flow constructed wetland systems- first two years performance.** Water Science & Technology. v.48.n.5.p.15-24.

Wetzel R. G. (1993). **Limnologia.** Edição Calouste Caulbenkian. Capítulo 18. p.307-356

Wetzel R. G. (2000). **Fundamental processes within natural and construct wetland ecosystems: shortterm long-tern objectives.** Water Science & Technology. V.44.n.11p.1-25

Wood R.B.& McAtamney C. F. (1996). **Constructed wetlands for waster water treatment: the use of laterite in the bed medium in phosphorus and metal removal.** Hydrobiology 340 University Ulster. pg323-331

World Commission on Environment and Development. (1990). Sustainable development: guide to our common future. Geneva, Switzerland.

Worrall P., Pederdy K. J. and Millett M. C. (1990). **Constructed wetlands and Nature Conservation.** Water Science & Technology. V.35n.5.p.205-213.

Zhu T., Jenssen P.D., Maehlum T. and Krogstad T. (1997). **Phosphorus sorption and chemical characteristics of lightweight aggregates (LWA)-Potentials filter in treatment wetlands.** Water Science & Technology. v.35.n.5.p.103-108.

Zhu T., Maehlum T., Jenssen P.D. and Krogstad T. (2003). **Phosphorus sorption characteristics of a light-weight aggregate.** Water Science & Technology. v.48.n.5.p.93-100.

ANEXO

Distribuição de Fósforo Total no Efluente das Terras Úmidas

Afluente					Efluente					Efluente				
Fósforo que entrou no Sistema Wetlands(P2)					Fósforo que Saiu do Controle com Areia					Fósforo que Saiu do Controle com Brita				
Data	P2 (mg-P/l)	F=Q*Cb2 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	A1 (mg-P/l)	F=Q*CA1 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	A2 (mg-P/l)	F=Q*CA2 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)
23/10/03	5,40	43,20	30	1296,05	23/10/03	2,12	11,07	30	332,20	23/10/03	2,32	15,38	30	461,50
20/11/02	11,33	90,66	31	2810,48	20/11/02	4,68	24,38	31	755,73	20/11/02	5,11	33,87	31	1050,03
18/12/02	6,07	48,59	30	1457,62	18/12/02	5,48	28,45	30	853,40	18/12/02	3,71	24,61	30	738,22
15/01/03	6,72	53,75	31	1666,18	15/01/03	5,78	28,74	31	890,96	15/01/03	5,23	33,10	31	1026,20
11/02/03	6,03	48,20	28	1349,62	11/02/03	5,20	25,87	28	724,45	11/02/03	5,18	32,80	28	918,49
12/03/03	5,01	40,06	31	1241,90	12/03/03	4,11	14,55	31	451,15	12/03/03	4,39	29,26	31	906,94
09/04/03	5,68	45,40	30	1362,14	09/04/03	3,58	12,68	30	380,37	09/04/03	4,03	26,87	30	806,10
14/05/03	5,79	46,29	31	1435,00	14/05/03	4,30	25,27	31	783,26	14/05/03	4,41	19,39	31	601,15
07/06/03	3,31	26,51	30	795,28	07/06/03	5,54	32,50	30	974,86	07/06/03	4,89	21,54	30	646,11
Total	6,15			13414,29	Total	4,53			6146,36	Total	4,36			7154,74

Efluente					Efluente					Efluente				
Fósforo que Saiu do Tanque com Arie e Arroz					Fósforo que Saiu do Tanque com Areia e Typha ssp					Fósforo que Saiu do Tanque com Brita e Arroz				
Data	A3 (mg-P/l)	F=Q*Ca3 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	B1 (mg-P/l)	F=Q*cb1 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	B2 (mg-P/l)	F=Q*Cb2 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)
23/10/03	3,10	1,90	30	56,99	23/10/03	3,41	0,07	30	2,05	23/10/03	3,37	0,51	30	15,17
20/11/02	2,96	1,81	31	56,17	20/11/02	4,18	0,08	31	2,59	20/11/02	3,77	0,57	31	17,53
18/12/02	4,26	2,61	30	78,43	18/12/02	3,09	0,06	30	1,86	18/12/02	3,81	0,57	30	17,16
15/01/03	6,49	3,03	31	93,95	15/01/03	5,60	0,18	31	5,72	15/01/03	5,87	1,17	31	36,40
11/02/03	5,72	2,67	28	74,75	11/02/03	4,79	0,16	28	4,43	11/02/03	5,72	1,14	28	32,01
12/03/03	4,48	15,61	31	484,00	12/03/03	4,09	15,14	31	469,37	12/03/03	4,28	19,10	31	592,22
09/04/03	3,74	13,04	30	391,11	09/04/03	3,78	13,94	30	418,10	09/04/03	4,40	19,75	30	592,41
14/05/03	4,78	17,49	31	542,08	14/05/03	3,93	17,06	31	528,89	14/05/03	3,05	13,74	31	425,96
07/06/03	5,30	19,40	30	582,03	07/06/03	4,21	18,26	30	547,90	07/06/03	4,36	19,65	30	589,60
Total	4,54			2359,51	Total	4,12			1980,91	Total	4,29			2318,47

Distribuição de Fósforo Total no Efluente das Terras Úmidas

efluente					Efluente					Efluente				
Fósforo que entrou no Sistema Wetlands(P2)					Fósforo que Saiu do Controle com Areia					Fósforo que Saiu do Controle com Brita				
Data	AT3 (mg-P/l)	F=Q*Cat3 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	BA1 (mg-P/l)	F=Q*CBA1 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	BA2 (mg-P/l)	F=Q*CBA2 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)
23/10/03	3,96	31,66	30	949,73	23/10/03	3,29	17,17	30	515,18	23/10/03	2,81	18,62	30	558,51
20/11/02	3,43	27,45	31	850,95	20/11/02	2,96	15,41	31	477,67	20/11/02	3,09	20,51	31	635,71
18/12/02	1,55	12,41	30	372,43	18/12/02	3,92	20,41	30	612,32	18/12/02	3,09	20,52	30	615,53
15/01/03	3,90	31,21	31	967,46	15/01/03	4,27	21,22	31	657,89	15/01/03	4,66	29,48	31	913,83
11/02/03	3,00	24,02	28	672,66	11/02/03	5,76	28,63	28	801,74	11/02/03	5,51	34,89	28	976,79
12/03/03	3,26	26,11	31	809,41	12/03/03	4,71	16,68	31	517,05	12/03/03	4,48	29,88	31	926,32
09/04/03	4,79	38,33	30	1149,98	09/04/03	3,87	13,70	30	410,96	09/04/03	5,51	36,74	30	1102,12
14/05/03	4,84	38,72	31	1200,19	14/05/03	1,18	6,90	31	213,94	14/05/03	1,79	7,89	31	244,59
07/06/03	3,70	29,59	30	887,58	07/06/03	3,81	22,34	30	670,08	07/06/03	4,30	18,90	30	567,14
Total	3,60			7860,37	Total	3,75			4876,84	Total	3,92			6540,53

Afluente					Efluente					Efluente				
Fósforo que entrou no Sistema Wetlands(P2)					Fósforo que Saiu do Controle com Areia					Fósforo que Saiu do Controle com Brita				
Data	BA3 (mg-P/l)	F=Q*Cb3 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	BT1 (mg-P/l)	F=Q*CBT1 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	BT2 (mg-P/l)	F=Q*CBT2 (mg-P/dia)	Dias dos meses (dia)	cF=F* dias (mg-P)
23/10/03	3,88	31,03	30	931,01	23/10/03	2,51	13,11	30	393,20	23/10/03	1,25	8,27	30	248,08
20/11/02	3,48	27,81	31	862,18	20/11/02	4,00	20,84	31	645,97	20/11/02	0,83	5,49	31	170,18
18/12/02	3,03	24,25	30	727,58	18/12/02	1,92	10,02	30	300,54	18/12/02		0,00	30	0,00
15/01/03	4,89	39,09	31	1211,73	15/01/03	6,58	32,73	31	1014,55	15/01/03	7,89	49,92	31	1547,60
11/02/03	5,72	45,73	28	1280,55	11/02/03	2,51	12,48	28	349,44	11/02/03	1,69	10,68	28	299,03
12/03/03	4,60	36,76	31	1139,59	12/03/03	1,67	5,92	31	183,40	12/03/03	3,09	20,63	31	639,56
09/04/03	4,69	37,51	30	1125,30	09/04/03	2,94	10,42	30	312,63	09/04/03	2,24	14,95	30	448,40
14/05/03	1,09	8,75	31	271,15	14/05/03	5,07	29,74	31	921,84	14/05/03	4,67	20,57	31	637,64
07/06/03	3,76	30,10	30	902,97	07/06/03	4,08	23,97	30	718,99	07/06/03	5,15	22,67	30	679,96
Total	3,90			8452,06	Total	3,48			4840,55	Total	3,35			4670,47

Balanço de Fósforo Total no Sistema de Terras Úmidas

Afluente					Efluente					Efluente				
Fósforo que entrou no Sistema Wetlands(P2)					Fósforo que Saiu do Controle com Areia					Fósforo que Saiu do Controle com Brita				
Data	B3 (mg-P/l)	F=Q*Cb3 (mg-P/dia)	Dias dos mês (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	AA1 (mg-P/l)	F=Q*CAA1 (mg-P/dia)	Dias dos mês (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	AA2 (mg-P/l)	F=Q*CAA2 (mg-P/dia)	Dias dos mês (dia)	cF=F* dias (mg-P)
23/10/03	4,60	36,81	30	1104,17	23/10/03	4,97	25,91	30	777,45	23/10/03	4,54	30,13	30	903,85
20/11/02	4,79	38,32	31	1187,83	20/11/02	8,41	43,85	31	1359,41	20/11/02	5,04	33,42	31	1036,07
18/12/02	3,57	28,53	30	855,83	18/12/02	3,48	18,16	30	544,82	18/12/02	3,40	22,56	30	676,87
15/01/03	5,16	41,28	31	1279,88	15/01/03	4,34	21,56	31	668,49	15/01/03	4,18	26,43	31	819,44
11/02/03	4,91	39,32	28	1100,94	11/02/03	5,80	28,84	28	807,47	11/02/03	1,07	6,78	28	189,72
12/03/03	4,37	34,96	31	1083,79	12/03/03	3,94	13,96	31	432,61	12/03/03		0,00	31	0,00
09/04/03	3,33	26,66	30	799,65	09/04/03	3,35	11,88	30	356,33	09/04/03	3,41	22,76	30	682,75
14/05/03	3,30	26,37	31	817,35	14/05/03	0,78	4,61	31	142,78	14/05/03	0,78	3,45	31	107,02
07/06/03	3,91	31,30	30	938,86	07/06/03	4,68	27,48	30	824,35	07/06/03		0,00	30	0,00
Total	4,22			9168,31	Total	4,42			5913,71	Total	3,20			4415,72

Efluente					Efluente					Efluente				
Fósforo que Saiu do Tanque com Areia e Arroz					Fósforo que Saiu do Tanque com Areia e <i>Typha ssp</i>					Fósforo que Saiu do Tanque com Brita e Arroz				
Data	AA3 (mg-P/l)	F=Q*Ca3 (mg-P/dia)	Dias dos mês (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	AT1 (mg-P/l)	F=Q*CAT1 (mg-P/dia)	Dias dos mês (dia)	cF=F* dias (mg-P)	Data	AT2 (mg-P/l)	F=Q*Cat2 (mg-P/dia)	Dias dos mês (dia)	cF=F* dias (mg-P)
23/10/03	4,07	2,50	30	74,92	23/10/03	4,39	0,09	30	2,63	23/10/03	3,16	0,47	30	14,21
20/11/02	5,20	3,19	31	98,76	20/11/02	3,34	0,07	31	2,07	20/11/02	3,75	0,56	31	17,43
18/12/02	1,86	1,14	30	34,21	18/12/02	2,37	0,05	30	1,42	18/12/02	4,02	0,60	30	18,08
15/01/03	4,89	2,28	31	70,73	15/01/03	2,98	0,10	31	3,05	15/01/03	0,99	0,20	31	6,15
11/02/03	2,32	1,09	28	30,39	11/02/03	4,13	0,14	28	3,82	11/02/03	3,15	0,63	28	17,62
12/03/03	2,44	8,49	31	263,31	12/03/03	3,49	12,92	31	400,49	12/03/03	3,94	17,67	31	547,88
09/04/03	3,93	13,68	30	410,45	09/04/03	2,45	9,06	30	271,93	09/04/03	2,24	10,06	30	301,83
14/05/03	0,74	2,72	31	84,35	14/05/03	4,39	19,02	31	589,77	14/05/03	4,80	22,09	31	684,78
07/06/03		0,00	30	0,00	07/06/03	9,51	41,25	30	1237,36	07/06/03	5,47	24,66	30	739,83
Total	3,18			1067,13	Total	4,12			2512,54	Total	3,51			2347,81

Distribuição de Fósforo Total no Efluente das Terras Úmidas

Efluente				
Fósforo que Saiu do Tanque com Areia e Arroz				
Data	BT3 (mg-P/l)	F=Q*CBT3 (mg-P/dia)	Dias dos mês (dia)	cF=F* dias (mg-P)
23/10/03	0,95	0,58	30	17,55
20/11/02	0,06	0,04	31	1,10
18/12/02		0,00	30	0,00
15/01/03	5,69	2,66	31	82,34
11/02/03	1,71	0,80	28	22,33
12/03/03	1,26	4,38	31	135,75
09/04/03	1,67	5,80	30	174,14
14/05/03	1,81	6,64	31	205,79
07/06/03	2,57	9,39	30	281,73
Total	1,96			920,73

Distribuição de Fósforo Total nas Plantas das Terras Úmidas

Tratamento	Partes da Planta	Primeira Coleta de Planta			Segunda Coleta de Planta				
		%P	Massa seca (g)	Massa P nas partes Planta(g)	Total de P na Planta(g)	%P	Massa seca (g)	Massa P nas partes Planta(g)	Total de P na Planta(g)
Areia Arroz-AA1	Parte Aerea	0,23	1606,11	3,69		0,34	1186,02	4,03	
	Raiz	0,08	3682,7	2,95	8,73	0,09	4473,47	4,03	8,58
	Grãos	0,34	614,3	2,09		0,3	172,4	0,52	
Areia Arroz-AA2	Parte Aerea	0,26	1114,95	2,90		0,31	914,21	2,83	
	Raiz	0,14	3297,8	4,62	9,21	0,14	5065,21	7,09	10,31
	Grãos	0,4	424,6	1,70		0,33	115,5	0,38	
Areia Arroz-AA3	Parte Aerea	0,19	1515,48	2,88		0,36	719,7	2,59	
	Raiz	0,15	2288,52	3,43	7,53	0,16	3672,33	5,88	8,75
	Grãos	0,24	506,5	1,22		0,27	106,6	0,29	
Brita Arroz-BA1	Parte Aerea	0,18	1666,62	3,00		0,29	942,05	2,73	
	Raiz	0,3	2936,04	8,81	12,78	0,24	1736,71	4,17	7,15
	Grãos	0,35	278,3	0,97		0,28	88,4	0,25	
Brita Arroz-BA2	Parte Aerea	0,13	1453,49	1,89		0,43	1453,49	6,25	
	Raiz	0,09	1081,22	0,97	4,87	0,17	1866,14	3,17	9,68
	Grãos	0,36	558,8	2,01		0,26	100,7	0,26	
Brita Arroz-BA3	Parte Aerea	0,15	1602,17	2,40		0,35	1431,92	5,01	
	Raiz	0,21	2396,94	5,03	9,47	0,17	2345,62	3,99	9,18
	Grãos	0,38	535,6	2,04		0,3	61,1	0,18	
Areia Typha- AT1	Parte Aerea					0,08	3202,34	2,56	5,36
	Raiz					0,04	7004,74	2,80	
Areia Typha- AT2	Parte Aerea					0,05	4816,17	2,41	7,71
	Raiz					0,11	4816,17	5,30	
Areia Typha- AT3	Parte Aerea					0,07	2594,61	1,82	17,88
	Raiz					0,16	10039,12	16,06	
Brita Typha-BT1	Parte Aerea					0,1	3924,95	3,92	27,81
	Raiz					0,23	10384,02	23,88	
Brita Typha-BT2	Parte Aerea					0,08	2824,15	2,26	26,72
	Raiz					0,2	12231,51	24,46	
Brita Typha-BT3	Parte Aerea					0,07	7285,13	5,10	26,12
	Raiz					0,19	11065,23	21,02	

Distribuição de Fósforo Total nas Plantas das Terras Úmidas

Coleta da Typha ssp 03/10/2002

Tratamento	Partes da Planta	%P	Massa seca (g)	Massa P na Parte Aerea da Planta(g)
Areia Typha- AT1	Parte Aerea	0,22	2069,11	4,55
Areia Typha- AT2	Parte Aerea	0,24	1096,23	2,41
Brita Typha-BT2	Parte Aerea	0,34	1899,83	4,18
Brita Typha-BT3	Parte Aerea	0,34	2599,53	5,72

Distribuição de Fósforo Total nos Substratos das Terras Úmidas

Substratos						
Substrato Tanques	1º Ciclo (mg-P/dm ³)	No Tanque (mg-P)	2º Ciclo (mg-P/dm ³)	No Tanque (mg-P)	Média dos (mg-P)	Média(g-P) (9 meses)
A1	68,30	12089,15	68,89	12193,71	12141,43	4,75
A2	57,69	10211,11	57,80	10230,46	10220,78	4,00
A3	49,73	8802,58	64,73	11457,49	10130,04	3,96
AA1	96,95	17159,86	74,44	13175,34	15167,60	5,94
AA2	71,48	12652,56	77,21	13666,16	13159,36	5,15
AA3	69,36	12276,95	120,19	21273,77	16775,36	6,56
AT1			84,14	14893,19	14893,19	5,83
AT2			100,78	17838,07	17838,07	6,98
AT3			92,46	16365,63	16365,63	6,40
B1	15,75	4639,84	16,30	4803,59	4721,72	1,85
B2	16,33	4811,32	15,86	4673,83	4742,57	1,86
B3	15,97	4704,73	16,10	4743,35	4724,04	1,85
BA1	16,64	4902,46	16,39	4828,31	4865,39	1,90
BA2	16,38	4825,22	16,43	4842,21	4833,72	1,89
BA3	16,50	4860,75	18,10	5333,46	5097,11	1,99
BT1			18,62	5486,40	5486,40	2,15
BT2			19,61	5778,37	5778,37	2,26
BT3			19,63	5784,55	5784,55	2,26

Tabela: Biofilme das Britas WETLANDS "2"

Data: 20/02/2003

Obs: Po= Peso da brita + peso da capsula

Pontos	Brita	Capsula	Po	P1	P2	Biofilme	
						P1-Po	P2-P1
B1	101,6926	67,4246	169,1172	167,2879	167,1369	2	0,1510
B1	104,003	70,668	174,671	172,4719	172,3205	2	0,1514
B2	101,225	96,7	197,925	195,976	195,7935	2	0,1825
B2	101,9426	82,2944	184,237	182,3256	182,1339	2	0,1917
B3	101,7915	84,2636	186,0551	184,8343	184,7137	1	0,1206
B3	101,7535	73,6368	175,3903	174,2712	174,1748	1	0,0964
BA1	100,1508	89,7174	189,8682	188,0974	187,9466	2	0,1508
BA1	102,6556	91,4165	194,0721	192,4069	192,2515	2	0,1554
BA2	103,8981	88,495	192,3931	191,204	191,0821	1	0,1219
BA2	103,5513	85,9499	189,5012	188,3715	188,2767	1	0,0948
BA3	100,1564	82,0276	182,184	181,252	181,1419	1	0,1101
BA3	102,9582	89,5789	192,5371	188,7078	188,5776	4	0,1302

OBS: P2-P1= A massa em (g)de biofilme existente na brita por 100 gramas de brita

Brita dos Tanques	Biofilme (g/100g brita)
B1	0,151
B1	0,1514
B2	0,1825
B2	0,1917
B3	0,1206
B3	0,0964
BA1	0,1508
BA1	0,1554
BA2	0,1219
BA2	0,0948
BA3	0,1101
BA3	0,1302

Data: 20/02/2003

Tanques de		
Brita	Abs	P(mg/l)
B1	1,45	15,51
B1	1,496	15,99
B1	1,554	16,60
B2	1,516	16,20
B2	1,541	16,46
B2	1,484	15,86
B3	1,544	16,49
B3	1,444	15,44
B3	1,524	16,28
BA1	1,558	16,64
BA1	1,54	16,45
BA1	1,528	16,32
BA2	1,533	16,38
BA2	1,574	16,81
BA2	1,545	16,50
BA3	1,527	16,31
BA3	1,562	16,68
BA3	1,823	19,42

CURVA

CONC	ABS
0	0
1	0,045
2	0,168
4	0,322
6	0,561

OBS: 100g de brita/ 100ml = 15,51mg-P/l
 1g de brita/ml = 15,51*1,0E-3 g-P/1,0E3 ml
 1g de brita = 15,51g-P

OBS:O volume da brita no tanque é de 0,18m3

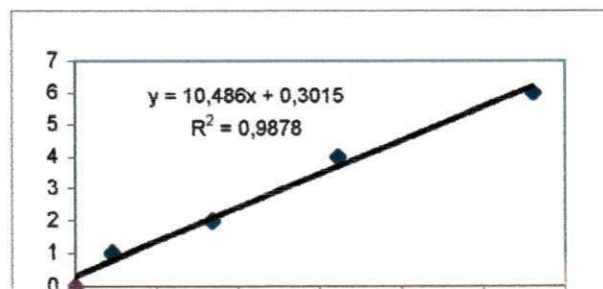


Tabela: Evapotranspiração Terras Úmidas Construídas"

Hora: 7:30 h

	Medição 13/12/2002			Medição 30/1/2003		
	Entrada(ml)	Saída (ml)	Evapotr (ml)	Entrada(ml)	Saída (ml)	Evapotr (ml)
A1	8000	5020	2980	8000	5000	3000
A2	8000	5300	2700	8000	4900	3100
A3	8000	5320	2680	8000	5020	2980
B1	8000	7700	300	8000	7500	500
B2	8000	6300	1700	8000	6000	2000
B3	8000	6000	2000	8000	6400	1600
AA1	8000	710	7290	8000	800	7200
AA2	8000	1130	6870	8000	100	7900
AA3	8000	0	8000	8000	500	7500
AT1	8000	0	8000	8000	0	8000
AT2	8000	0	8000	8000	0	8000
AT3	8000	60	7940	8000	100	7900
BA1	8000	0	8000	8000	0	8000
BA2	8000	320	7680	8000	400	7600
BA3	8000	130	7870	8000	200	7800
BT1	8000	0	8000	8000	0	8000
BT2	8000	0	8000	8000	0	8000
BT3	8000	0	8000	8000	0	8000

	Medição 25/4/2002			Medição 24/5/2002		
	Entrada(ml)	Saída (ml)	Evapotr (ml)	Entrada(ml)	Saída (ml)	Evapotr (ml)
A1	8000	700	7300	8000	7030	970
A2	8000	4300	3700	8000	4500	3500
A3	8000	6340	1660	8000	6080	1920
B1	8000	6750	1250	8000	700	7300
B2	8000	6950	1050	8000	6500	1500
B3	8000	6300	1700	8000	6000	2000
AA1	8000	3250	4750	8000	3500	4500
AA2	8000	2950	5050	8000	3000	5000
AA3	8000	4250	3750	8000	4480	3520
AT1	8000	1550	6450	8000	2010	5990
AT2	8000	2750	5250	8000	3870	4130
AT3	8000	6810	1190	8000	7130	870
BA1	8000	2310	5690	8000	2680	5320
BA2	8000	4250	3750	8000	3800	4200
BA3	8000	6900	1100	8000	7040	960
BT1	8000	0	8000	8000	0	8000
BT2	8000	1070	6930	8000	0	8000
BT3	8000	0	8000	8000	0	8000

Crescimento das plantas cultivadas no sistemaTUC

Tabela: Crescimento das Plantas

Data: 08/10/2002
Hora: 7:30 h

OBS: altura em cm

Corte da *Typha ssp*

Tanques	Brotos	Altura	Pendulos	
			Verdes	Maduros
AT1	30	*	*	*
AT2	44	*	*	*
AT3	30	*	*	*
BT1	41	*	*	*
BT2	42	*	*	*
BT3	44	*	*	*

Arroz

Tanques	Altura	Brotos
AA1	15	*
AA2	15	*
AA3	15	*
BA1	15	*
BA2	15	*
BA3	15	*

Tabela: Crescimento das Plantas

Data: 5/11/2002
Hora: 7:30 h

OBS: altura em cm

Typha ssp

Tanques	Brotos	Altura	Verdes	Maduros
AT1	40	*	*	*
AT2	54	*	*	*
AT3	45	*	*	*
BT1	51	*	*	*
BT2	53	*	*	*
BT3	54	*	*	*

Arroz

Tanques	Altura	Brotos
AA1	24	*
AA2	28	*
AA3	26	*
BA1	31	*
BA2	29	*
BA3	32	*

Tabela: Crescimento das Plantas

Data: 05/12/2002
Hora: 7:20 h

OBS: altura em cm

Typha ssp

Tanques	Brotos	Altura	Verdes	Maduros
AT1	59	136	*	*
AT2	77	119,3	*	*
AT3	45	138,3	2	*
BT1	56	158	12	*
BT2	70	176,3	7	*
BT3	81	165	13	*

Arroz

Tanques	Altura	Brotos
AA1	36,88	*
AA2	32,13	*
AA3	44,43	*
BA1	50,38	*
BA2	48,57	*
BA3	46,25	*

Tabela: Crescimento das Plantas

Data: 10/01/2003
Hora: 7:20 h

OBS: altura em cm

Typha

Tanques	Brotos	Altura	Verdes	Maduros
AT1	59	146,7	3	16
AT2	77	142	3	13
AT3	45	142	3	11
BT1	56	146,7	3	32
BT2	70	148,3	0	35
BT3	81	141	1	30

Arroz

Tanques	Altura
AA1	55,6
AA2	54,2
AA3	63,2
BA1	58,2
BA2	63,4
BA3	66,6

Crescimento das plantas cultivadas no sistemaTUC

Tabela: Crescimento das Plantas

Data: 25/02/2003

OBS: altura em cm

Hora: 9:00 h

Typha ssp

Tanques	Plantas	Altura	Pendulos	
			Verdes	Maduros
AT1	100	170,8	2	7
AT2	123	173	1	3
AT3	65	180	3	4
BT1	120	145	0	3
BT2	115	165	1	5
BT3	171	170	0	3

Arroz(Segundo ciclo do arroz)

Tanques	Altura	Plantas
AA1	20	68
AA2	20	76
AA3	20	69
BA1	20	72
BA2	20	75
BA3	20	69

Tabela: Crescimento das Plantas

Data: 10/032003

OBS: altura em cm

Hora: 7:20 h

Typha ssp

Tanques	Plantas	Altura	Verdes	Maduros
AT1	101	179,33	0	9
AT2	125	174	5	2
AT3	70	180	0	12
BT1	123	150	3	4
BT2	117	167	5	0
BT3	130	171	1	2

Tanques	Altura
AA1	20
AA2	28
AA3	30
BA1	32
BA2	25
BA3	22

Tabela: Crescimento das Plantas

Data: 25/04/2003

OBS: altura em cm

Hora: 7: h

Typha ssp

Tanques	Brotos	Altura	Verdes	Maduros
AT1	8	189	4	21
AT2	13	187	2	17
AT3	7	175	4	11
BT1	12	189	5	7
BT2	13	185	3	9
BT3	11	200	2	11

Tanques	Altura
AA1	66
AA2	65
AA3	60
BA1	72
BA2	60
BA3	70

Tabela: Crescimento das Plantas

Data: 20/05/2003

OBS: altura em cm

Hora: 10:00 h

Corte da typha

Tanques	Plantas	Altura	Verdes	Maduros
AT1	12	192	2	7
AT2	15	190	1	3
AT3	11	180	3	4
BT1	17	192	0	3
BT2	16	195	1	5
BT3	14	210	0	3

Tanques	Altura
AA1	68
AA2	67
AA3	63
BA1	78
BA2	65
BA3	74

Crescimento das plantas cultivadas no sistemaTUC

Tabela: Crescimento das Plantas

Data: 5/06/2003

OBS: altura em cm

Hora: 7:20 h

<i>Typha ssp</i>					<i>Arroz</i>	
Tanques	Plantas	Altura	Verdes	Maduros	Tanques	Altura
AT1	101	179,33	0	4	AA1	70
AT2	125	174	5	2	AA2	71
AT3	70	180	0	1	AA3	68
BT1	123	150	3	2	BA1	78
BT2	117	167	5	0	BA2	66
BT3	130	171	1	2	BA3	75