



UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

**ESTUDO DA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA CARBONÁCEA,
NITROGÊNIO AMONÍACAL E FÓSFORO EM LIXIVIADO PRÉ-TRATADO DE
ATERRO SANITÁRIO EMPREGANDO *TYPHA* EM *WETLANDS*.**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

FABIANE BORDIN

SÃO LEOPOLDO

2010

FABIANE BORDIN

**ESTUDO DA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA CARBONÁCEA,
NITROGÊNIO AMONÍACAL E FÓSFORO EM LIXIVIADO PRÉ-TRATADO
DE ATERRO SANITÁRIO EMPREGANDO *TYPHA* EM *WETLANDS***

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil

Orientadora: Prof^a Dr^a Luciana Paulo Gomes

Abril/2010

FICHA CATALOGRÁFICA

B729e Bordin, Fabiane

Estudo da remoção de matéria orgânica carbonácea, nitrogênio amoniacal e fósforo em lixiviado pré-tratado de aterro sanitário empregando *Typha* em *wetlands* / por Fabiane Bordin. – 2010. 124 f. : il., 30cm.

Dissertação (mestrado) — Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2010.

“Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Luciana Paulo Gomes, Ciências Exatas”.

FONTES FINANCIADORAS



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE



FUNDO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE



GOVERNO ESTADUAL DO RIO GRANDE
DO SUL



SECRETARIA ESTADUAL DO MEIO
AMBIENTE

APOIO



COMITÊ DE GERENCIAMENTO DA BACIA
HIDROGRÁFICA DO RIO DOS SINOS



CONSÓRCIO PÚBLICO DE SANEAMENTO
BÁSICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO
RIO DOS SINOS

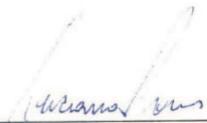
TERMO DE APROVAÇÃO

“ESTUDO DA REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA CARBONÁCEA, NITROGÊNIO AMONÍACAL E FÓSFORO EM LIXIVIADO PRÉ-TRATADO DE ATERRO SANITÁRIO EMPREGANDO *TYPHA* EM *WETLANDS*”

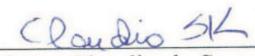
FABIANE BORDIN

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada e aprovada pela banca examinadora no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da UNISINOS como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.

Aprovado por:

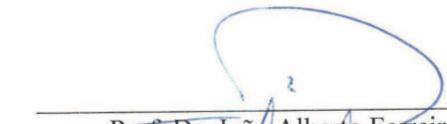


Prof.^ª Dr.^ª Luciana Paulo Gomes
Orientadora

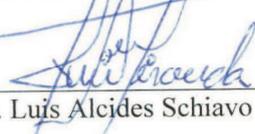


Prof. Dr. Claudio de Souza Kazmierczak
Coordenador do PPGEC/UNISINOS

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. João Alberto Ferreira



Prof. Dr. Luís Alcides Schiavo Miranda

Se, a princípio, a ideia não é absurda, então...

... não há esperança para ela.

Albert Einstein

DEDICATÓRIA

*Ao meu pai **Ivo** que soube transmitir o quão importante é a formação para uma pessoa;*

*À minha mãe **Inês**, pelo carinho e apoio;*

*À minha irmã **Priscila** pela troca de conselhos;*

*Ao meu amor **Maurício**, pelo incentivo e por estar presente em cada momento desta
conquista.*

AGRADECIMENTOS

A concretização desta pesquisa é resultado do trabalho de uma grande equipe. Por isso, devo meus sinceros agradecimentos:

À Professora Dra. Luciana Paulo Gomes, pela confiança, oportunidade concedida e pelo aprendizado não só nas atividades de pesquisa e orientação, mas, no aprendizado de relacionamento.

Ao Professor Dr. Luís Alcides Schiavo Miranda, por estar sempre disposto a esclarecer nossas dúvidas sobre química, micro-organismos e outros fenômenos distantes do conhecimento do Engenheiro Civil.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil desta Universidade – PPGEC pela oportunidade de concretização de um sonho.

Ao corpo docente do mesmo, que moldou minha forma de pensar transformando-me numa pesquisadora.

À Laila pelo companheirismo, auxílio e amizade durante todo o percurso.

Aos colegas do Laboratório de Microbiologia de Resíduos e Geoquímica, em especial: Elisa, Marina, Bárbara, Roger, Maura, Débora, Ângela, Cristiane, Aldrim, Marcelo, Jalir e Ismael pelo auxílio, companheirismo, disposição e ajuda sempre prestada.

Aos colegas do curso de Mestrado em Engenharia Civil da UNISINOS: Ana, Aline, Mariana, Quéli, Déri, Luís Felipe, Lisiane, Marília e José Ricardo,

À Universidade Federal do Rio Grande do Sul por possibilitar a execução de parte da pesquisa e a equipe do laboratório do Instituto de Pesquisas Hidráulicas: André, Mara, Susan, Tiago e Vera, pela disponibilidade e auxílio.

Aos professores Dr. Luis Alcides Schiavo Miranda e Prof. Dr. João Alberto Ferreira, por se disporem a participar da banca de defesa.

LISTA DE ABREVIATURAS

APHA - American Public Health Association
WH – *Wetland* Horizontal
WH0 – *Wetland* Horizontal sem *Typha*
WV – *Wetland* Vertical
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONSEMA – Conselho Estadual do Meio Ambiente
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO – Demanda Química de Oxigênio
ETLix – Estação de Tratamento de Lixiviado
ETE – Estação de Tratamento de Esgoto
FEPAM – Fundação Estadual de Proteção Ambiental
NA – Nitrogênio Amoniacal
NMP – Número Mais Provável
NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl
OD – Oxigênio Dissolvido
pH – Potencial Hidrogeniônico
PT – Fósforo Total
PROSAB – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
RSU – Resíduos Sólidos Urbanos
RSD – Resíduos Sólidos Domésticos
SSed – Sólidos Sedimentáveis
SST – Sólidos Suspensos Totais
TDH – Tempo de Detenção Hidráulica
UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e manta de lodo)
ST – Sólidos Totais
SFT – Sólidos Fixos Totais
SNIS – Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composições verificadas em lixiviado de diversos aterros sanitários no mundo na primeira metade da década de 2000.	24
Tabela 2: Composições verificadas em lixiviado de diversos aterros sanitários no Brasil na segunda metade da década de 2000.	25
Tabela 3: Síntese dos resultados obtidos em <i>wetlands</i> de fluxo sub-superficial com <i>Typha</i>	31
Tabela 4: Resíduos sólidos domésticos gerados e coletados em São Leopoldo – RS.	40
Tabela 5: Características do lixiviado gerado na saída da ETLix (Ponto de amostragem: saída da lagoa de maturação).....	41
Tabela 6: Características do lixiviado gerado na saída da ETLix com análises realizadas no Laboratório de Microbiologia da Unisinos. (Ponto de amostragem: saída da lagoa de maturação).....	42
Tabela 7: Esgoto sanitário gerado na ETE Unisinos (Ponto de amostragem: saída do reator UASB).	42
Tabela 8: Aclimação das <i>Typha</i> com lixiviado.	51
Tabela 9: Aumento gradativo da concentração de lixiviado em relação ao esgoto utilizado no primeiro plantio.	53
Tabela 10: Métodos das análises.	54
Tabela 11: Aumento gradativo da concentração de lixiviado em relação ao esgoto utilizado no segundo plantio.	54
Tabela 12: Método das análises acrescidas no segundo plantio.	54
Tabela 13: Resultados (valores mínimo e máximo) durante o período com 0,5% de lixiviado e 99,5% de esgoto.	56
Tabela 14: Resultados (valores mínimo e máximo) durante o período com 1% de lixiviado.	58
Tabela 15: Resultados (valores mínimo e máximo) durante o período com 2% de lixiviado.	59
Tabela 16: Caracterização do efluente de entrada do primeiro plantio.	63

Tabela 17: Síntese dos resultados de remoções médias dos <i>wetlands</i> no primeiro plantio.	79
Tabela 18: Caracterização do efluente de entrada do segundo plantio.	80
Tabela 19: Síntese dos resultados de remoções médias dos <i>wetlands</i> no segundo plantio.	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Configuração típica de <i>wetlands</i> de Fluxo Superficial.	28
Figura 2: Configuração típica de <i>wetlands</i> de Fluxo Subsuperficial.	28
Figura 3: <i>Typha florida</i> fotografada no experimento dessa pesquisa.	30
Figura 4: Etapas da pesquisa.	44
Figura 5: Etapa 1 de construção dos <i>wetlands</i> : alvenaria e reboco.	45
Figura 6: Etapa 2 de construção dos <i>wetlands</i> : revestimento em fibra de vidro.	46
Figura 7: Etapa 3a de construção dos <i>wetlands</i> : colocação das pedras (brita 5) e detalhe da distribuição horizontal de fluxo nos <i>wetlands</i> horizontais.	46
Figura 8: Etapa 3b de construção dos <i>wetlands</i> : colocação das pedras (brita 1-inferior, 3-meio e 5-superior) nos <i>wetlands</i> verticais.	46
Figura 9: Etapa 4 de construção dos <i>wetlands</i> : colocação do solo sobre o leito de britas.	47
Figura 10: Etapa 5a de construção dos <i>wetlands</i> : sistema de distribuição lateral nos <i>wetlands</i> horizontais.	47
Figura 11: Etapa 5b de construção dos <i>wetlands</i> : sistema de distribuição superior nos <i>wetlands</i> verticais.	48
Figura 12: Sistema de distribuição do efluente a ser tratado.	48
Figura 13: Saída para coleta de amostras.	49
Figura 14: Saída para controle do nível.	49
Figura 15: Coleta das plantas em um dos lagos da Unisinos.	49
Figura 16: Planta retirada do lago e posteriormente replantada nos <i>wetlands</i>	50

Figura 17: Plantas com folhas de coloração totalmente verdes = Boa aclimação.	51
Figura 18: Plantas com algumas folhas da cor palha = Aclimação ruim.	51
Figura 19: Método de análise do crescimento das mudas por comparação da régua.	52
Figura 20: Acompanhamento fotográfico nos primeiros 4 meses de aclimação.	55
Figura 21: Aclimação com 0,5% de lixiviado – Fotografia 1 em 06/out/2008.	57
Figura 22: Aclimação com 0,5% de lixiviado – Fotografia 1 em 14/out/2008.	57
Figura 23: Aclimação com 0,5% de lixiviado – Fotografia 1 em 03/nov/2008.	58
Figura 24: Aclimação com 1% de lixiviado – Fotografia em 17/nov/2008.	59
Figura 25: Aclimação com 2% de lixiviado – Fotografia 1 em 15/dez/2008.	60
Figura 26: Aclimação com 2% de lixiviado – Fotografia 1 em 08/jan/2008.	61
Figura 27: Crescimento das plantas no período de aclimação de 0,5% a 2% de lixiviado – De 06/out/2008 a 08/nov/2008. (poda em 01/dez/2008).....	61
Figura 28: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=5).	64
Figura 29: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto - Primeiro plantio (n=5).	65
Figura 30: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=5).	66
Figura 31: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=6).	67
Figura 32: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=6).	67
Figura 33: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=6).	68

Figura 34: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=4).	69
Figura 35: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=4).	69
Figura 36: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=4).	70
Figura 37: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Primeiro plantio (n=8).	71
Figura 38: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Primeiro plantio (n=8).	71
Figura 39: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Primeiro plantio (n=8).	72
Figura 40: Médias de entrada e saída de DQO do <i>wetland</i> horizontal sem plantas (WH0) – Primeiro plantio.	73
Figura 41: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do <i>wetland</i> horizontal sem plantas (WH0) – Primeiro plantio.	73
Figura 42: Médias de entrada e saída de fósforo do <i>wetland</i> horizontal sem plantas (WH0) – Primeiro plantio.	74
Figura 43: Médias de entrada e saída de DQO do <i>wetland</i> horizontal com plantas (WH) – Primeiro plantio.	74
Figura 44: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do <i>wetland</i> horizontal (WH) – Primeiro plantio.	75
Figura 45: Médias de entrada e saída de fósforo do <i>wetland</i> horizontal com plantas (WH) – Primeiro plantio.	76
Figura 46: Médias de entrada e saída de DQO do <i>wetland</i> vertical com plantas (WV) – Primeiro plantio.	76
Figura 47: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do <i>wetland</i> vertical (WV) – Primeiro plantio.	77
Figura 48: Médias de entrada e saída de fósforo do <i>wetland</i> vertical com plantas (WV) – Primeiro plantio.	77
Figura 49: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=2).	81
Figura 50: DBO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=2).	81

Figura 51: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=2).	82
Figura 52: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=2).	83
Figura 53: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=6).	84
Figura 54: DBO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=6).	85
Figura 55: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=6).	85
Figura 56: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=6).	86
Figura 57: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=3).	87
Figura 58: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=3).	87
Figura 59: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=3).	88
Figura 60: DBO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=3).	89
Figura 61: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Segundo plantio (n=5).	90
Figura 62: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Segundo plantio (n=5).	91
Figura 63: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Segundo plantio (n=5).	91
Figura 64: DBO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Segundo plantio (n=5).	92
Figura 65: Médias de entrada e saída de DQO do <i>wetland</i> horizontal sem plantas (WH0) – Segundo plantio.	93
Figura 66: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do <i>wetland</i> horizontal sem plantas (WH0) – Segundo plantio.	93
Figura 67: Médias de entrada e saída de fósforo do <i>wetland</i> horizontal sem plantas (WH0) – Segundo plantio.	94

Figura 68: Médias de entrada e saída de DBO do <i>wetland</i> horizontal sem plantas (WH0) – Segundo plantio.	94
Figura 69: Médias de entrada e saída de DQO do <i>wetland</i> horizontal com plantas (WH) – Segundo plantio.	95
Figura 70: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do <i>wetland</i> horizontal com plantas (WH) – Segundo plantio.	95
Figura 71: Médias de entrada e saída de fósforo do <i>wetland</i> horizontal com plantas (WH) – Segundo plantio.	96
Figura 72: Médias de entrada e saída de DBO do <i>wetland</i> horizontal com plantas (WH) – Segundo plantio.	97
Figura 73: Médias de entrada e saída de DQO do <i>wetland</i> vertical com plantas (WV) – Segundo plantio.	97
Figura 74: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do <i>wetland</i> vertical com plantas (WV) – Segundo plantio.	98
Figura 75: Médias de entrada e saída de fósforo do <i>wetland</i> vertical com plantas (WV) – Segundo plantio.	98
Figura 76: Médias de entrada e saída de DBO do <i>wetland</i> vertical com plantas (WV) – Segundo plantio.	99

RESUMO

O lixiviado de aterro sanitário de resíduos sólidos urbanos é resultado da interação entre o processo de biodegradação da fração orgânica desses resíduos e da infiltração de águas pluviais que solubilizam componentes orgânicos e inorgânicos. Para a realização do tratamento do efluente em questão, buscaram-se soluções tecnológicas eficientes e de baixo custo, de forma a atender exigências da maioria das comunidades brasileiras. As técnicas usuais para tratamento do lixiviado, principalmente lagoas, apresentam uma deficiência na remoção de nutrientes tais como nitrogênio e fósforo. Neste aspecto acredita-se que unidades do tipo *wetlands* possam ser uma solução eficaz para o tratamento do lixiviado, minimamente de forma complementar a outros sistemas prévios (aeróbios e/ou anaeróbios). Foram construídos *wetlands* de 1,8m³, sendo que o gênero vegetal escolhido foi a macrófita *Typha*. Dois *wetlands* superficiais foram estudados: um de fluxo horizontal (WH), outro de fluxo vertical (WV) e ainda o branco (WH0). O tratamento do efluente foi feito através da diluição do lixiviado no esgoto em diferentes percentuais de incorporação, de 8%, 16%, 64% e 100% em dois plantios. O primeiro plantio ocorreu durante as estações de outono e inverno e o segundo ocorreu na primavera e verão. Foi estudada a eficiência de remoção de matéria orgânica carbonácea, nitrogênio amoniacal e fósforo do efluente e verificado o atendimento aos padrões de emissão exigidos pela legislação brasileira. Os resultados obtidos neste estudo demonstram boa adaptação na etapa de aclimação das plantas com 0,5% a 2% de lixiviado no esgoto. Quanto ao tratamento dos efluentes, os resultados demonstram que tanto no primeiro quanto no segundo plantio o WH apresentou maior quantidade de eventos de remoções superiores que os outros *wetlands*, embora a análise estatística não tenha demonstrado diferença significativa entre os fluxos horizontal e vertical e, entre o *wetland* com e sem plantas. Para as condições estudadas, a saída das unidades de tratamento ainda não atendem aos padrões de lançamento exigidos pela legislação. Constatou-se nesse estudo que o plantio das *Typha* nos *wetlands* deve coincidir com épocas de maiores temperaturas, quando verificou-se os melhores resultados para a remoção tanto de matéria orgânica carbonácea quanto para a remoção de nutrientes. Mesmo para altas concentrações contidas no lixiviado os *wetlands*, principalmente os de fluxo horizontal, removeram razoavelmente nutrientes. (13% a 56% para nitrogênio amoniacal e de 15% a 67% para fósforo).

Palavras-chave: *Wetlands*, Tratamento de Lixiviado, *Typha*

ABSTRACT

CARBONACEOUS ORGANIC MATTER, AMMONIACAL NITROGEN AND PHOSPHORUS REMOVAL STUDY IN PRE-TREATED SANITARY LANDFILL LEACHATE USING *TYPHA* IN WETLANDS

Urban solid waste sanitary landfill leachate results from the interaction between the biodegradation process of the organic portion of such wastes and stormwater percolation that solubilizes both organic and inorganic components. In an effort to promote leachate treatment, efficient and low cost technological solutions are sought in order to fulfill the demands of most Brazilian communities. The regularly applied techniques used in leachate treatment, mainly lagoons, present a nitrogen and phosphorus nutrient removal deficiency. In this respect, wetlands are seen as a possibly efficient solution for leachate treatment, at least as a complement to pre-treatment systems (aerobic and/or anaerobic). Wetlands measuring 1,8m³ were built using a macrophyte plant of the genus *Typha*. Three shallow wetlands were studied: the first with a horizontal flow (WH), the second with a vertical flow (WV) and the third without any plants (WH0). Wastewater treatment was conducted by leachate dilution into the sewage in different added percentages, from 8%, 16%, 64% and 100% in two different plantings. The first planting took place between the Fall and the Winter and the second occurred during Spring and Summer. The wastewater carbonaceous organic matter, ammoniacal nitrogen and phosphorus removal efficiency was studied and compliance with the standards prescribed by Brazilian regulations was verified. The study results demonstrate a good adaptation during the plants' acclimation with 0,5% to 2% leachate in the sewage. As for wastewater treatment, results demonstrate that both on the first and on the second plantings WH yielded a higher quantity of more efficient removal events than the other wetlands, even though the statistical analysis did not indicate a significant difference either between the horizontal and vertical flows or between the wetland with and without plants. Under the studied conditions, the treatment units' discharge points still do not comply with the standards prescribed by laws and regulations. Through this study it became evident that *Typha* planting in the wetlands must coincide with higher temperature periods, when the best results for both carbonaceous organic matter and nutrient removal were observed. Even for high concentrations present in the leachate, wetlands, particularly the ones with a horizontal flow, proved to remove nutrients in a satisfactory fashion (13% to 56% for ammoniacal nitrogen and from 15% to 67% for phosphorus).

Key-words: wetlands, leachate treatment, *Typha*

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	19
2. OBJETIVOS	21
2.1. Objetivo Geral	21
2.2. Objetivos Específicos.....	21
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	22
3.1. Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos	22
3.2. Tratamento de efluentes em <i>wetlands</i>	26
4. ÁREA E OBJETO DE ESTUDO	38
4.1. Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos.....	38
4.2. Caracterização dos Resíduos Sólidos em São Leopoldo	40
4.3. Lixiviado Gerado no Aterro Sanitário de São Leopoldo	40
4.4. Esgoto Gerado na Estação de Tratamento Unisinos.....	42
5. MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
5.1. <i>Wetlands</i>	45
5.1.1. Construção das Unidades WH e WV	45
5.1.2. Coleta das Plantas no Lago Área 5.....	49
5.1.3. Plantio da <i>Typha</i> nos <i>Wetlands</i>	49
5.2. Aclimação das Plantas.....	50
5.2.2. Composição do Efluente.....	50
5.2.1. Acompanhamento da Cor das Folhas e Crescimento das Plantas.....	51
5.2.1.1. Cor das Folhas	51
5.2.1.2. Crescimento das Plantas.....	52
5.3. Monitoramento do Processo de Tratamento.....	52
5.3.1. Primeiro Plantio	53
5.3.2. Segundo Plantio	54
6. RESULTADOS E DISCUSSÕES	55
6.1. Aclimação das plantas.....	55
6.1.1. Resultados obtidos - Período de aclimação com 0,5% de lixiviado e 99,5% de esgoto.....	56
6.1.2. Resultados obtidos - Período de aclimação com 1% de lixiviado e 99% de esgoto.....	58

6.1.3	Resultados obtidos - Período de aclimação com 2% de lixiviado e 98% de esgoto.	59
6.2	Tratamento do efluente	62
6.2.2	Primeiro Plantio	63
6.2.2.1	Primeiro Plantio com 8% de lixiviado e 92% de esgoto.....	64
6.2.2.2	Primeiro Plantio com 16% de lixiviado e 84% de esgoto.....	66
6.2.2.3	Primeiro Plantio com 64% de lixiviado e 36% de esgoto.....	68
6.2.2.4	Primeiro Plantio com 100% de lixiviado	70
6.2.2.5	Considerações finais – Primeiro plantio	72
6.2.3	Segundo Plantio	79
6.2.3.1	Segundo Plantio com 8% de lixiviado e 92% de esgoto.....	80
6.2.3.2	Segundo Plantio com 16% de lixiviado e 84% de esgoto.....	83
6.2.3.3	Segundo Plantio com 64% de lixiviado e 36% de esgoto.....	86
6.2.3.4	Segundo Plantio com 100% de lixiviado	89
6.2.3.5	Considerações finais – Segundo plantio	92
6.2.2	Considerações primeiro plantio x segundo plantio	101
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	103
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	105
	APÊNDICES	110
	APÊNDICE I – Resultado fotográfico da aclimação das plantas.....	110
	APÊNDICE II – Resultado obtido através da medição das fotos da aclimação das plantas.	114
	APÊNDICE III – Análise estatística dos resultados obtidos através das fotos da aclimação das plantas.	117
	APÊNDICE IV – Monitoramento do pH do primeiro e segundo plantios	119
	APÊNDICE V – Análise estatística.....	121

1. INTRODUÇÃO

O constante crescimento das populações urbanas, a forte industrialização e a demanda maior de consumo de água, vêm causando a acelerada geração de grandes volumes de resíduos sólidos e efluentes. Esta geração ocorre principalmente nas regiões metropolitanas das grandes cidades em consequência de uma melhor qualidade de vida. A geração dos resíduos sólidos cresce proporcionalmente com o aumento da população e com o consumo de produtos que geram variedades cada vez maiores de elementos descartáveis.

Estes, por sua vez, exigem um tratamento adequado, caso contrário haverá o risco de poluição e contaminação dos ecossistemas. Essa realidade exige a necessidade urgente de se desenvolver e adaptar tecnologias economicamente viáveis de tratamento de resíduos sólidos que contemplem tecnologias sustentáveis. A geração crescente de resíduos sólidos urbanos, associada a uma falta de investimentos no setor de saneamento e limitação técnica leva à propagação da disposição dos resíduos em locais sem prévio planejamento.

Os resíduos sólidos, em sua maioria, devem ser destinados para aterros sanitários. Nesses locais uma questão a ser resolvida trata do gerenciamento dos líquidos gerados no processo, necessidade premente para assegurar o correto atendimento à legislação ambiental. O lixiviado de aterros de resíduos sólidos urbanos (RSU) é resultado da interação entre o processo de biodegradação da fração orgânica desses resíduos e da infiltração de águas pluviais que solubilizam componentes orgânicos e inorgânicos. Conseqüentemente, o fator determinante na vazão de lixiviados de um aterro sanitário é o volume de águas pluviais infiltradas, enquanto o fator determinante das características físicas, químicas e microbiológicas do lixiviado são as características dos resíduos aterrados (LANGE e AMARAL, 2009). Para realizar tal tratamento buscam-se soluções tecnológicas eficientes e de baixo custo, de forma a atender exigências da maioria das comunidades brasileiras.

O gerenciamento inadequado do lixiviado pode gerar uma possível poluição principalmente do solo, águas superficiais e águas subterrâneas. A descarga do lixiviado nas águas provoca a elevação da carga orgânica, tornando o ambiente impróprio para a sobrevivência dos seres vivos. Assim, o lixiviado deve passar por um processo de tratamento para que sejam minimizados os riscos de contaminação antes de ser lançado em cursos d'água ou dispostos no solo.

As técnicas usuais para tratamento do lixiviado, principalmente lagoas, apresentam uma deficiência na remoção de nutrientes tais como nitrogênio e fósforo não atendendo assim os padrões de emissão exigidos pela legislação brasileira. Neste aspecto acredita-se que unidades do tipo *wetlands* possam ser uma solução alternativa eficaz para o tratamento do lixiviado, minimamente de forma complementar a outros sistemas prévios (aeróbios e/ou anaeróbios).

Os *wetlands* possuem a principal tarefa de reduzir a concentração de nutrientes que seriam descartados no meio ambiente. Esse tipo de sistema vem sendo utilizado tanto em tratamento de lixiviados de aterro sanitário como em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs). Segundo Mannarino *et al.*, (2006) e Valentim (2003) trata-se de alternativa simples, que tem apresentado resultados satisfatórios.

Estudos realizados em diferentes Instituições e Universidades no Brasil e no mundo indicam resultados promissores com bons resultados para a aplicação dos *wetlands* no tratamento de efluentes (MEIRA *et al.*, 2001; VYMAZAL, 2002; SOUSA *et al.*, 2004; TONIATO *et al.*, 2005, SEZERINO *et al.*, 2005; NAIME e GARCIA, 2005; MANNARINO *et al.*, 2006; CALHEIROS *et al.*, 2007; BRASIL *et al.*, 2007; ALMEIDA *et al.*, 2007; SUN e AUSTIN, 2007; ESCOSTEGUY *et al.*, 2008; CALIJURY *et al.*, 2008, CHEN *et al.*, 2008; GONZÁLEZ *et al.*, 2009; YALCUK e UGURLU, 2009; VON SPERLING *et al.*, 2009).

No *wetland* o tratamento dos efluentes é feito através de macrófitas, das quais a *Typha* é um dos gêneros mais utilizados. Essa é planta empregada nesta pesquisa, a qual está dividida primeiramente em objetivos e fundamentação teórica, onde se apresentam aspectos técnicos e ambientais. Inicialmente foi abordada a questão da Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos e, após Tratamento de Efluentes em *wetlands* onde são relacionados trabalhos que estudaram os mesmos processos, principalmente os aplicados para tratamento de lixiviados de aterro sanitário. A partir disso, a pesquisa ora apresentada segue com o detalhamento da metodologia desenvolvida e após, com os resultados e discussões, conclusões, considerações finais e recomendações.

2. OBJETIVOS

Os objetivos dessa pesquisa estão, a seguir, relacionados:

2.1. Objetivo Geral

Estudar *wetlands* como unidade de pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário.

2.2. Objetivos Específicos

- ⟨ Acompanhar o desenvolvimento das plantas durante a etapa de aclimação nos *wetlands*
- ⟨ Avaliar o processo de tratamento realizado nos *wetlands* em relação à eficiência de remoção de matéria orgânica carbonácea e nutrientes quando operados com diferentes misturas de lixiviado e esgoto sanitário pré-tratados.
- ⟨ Determinar as eficiências de remoção de matéria orgânica carbonácea e nutrientes quando se empregam *wetlands* superficiais de fluxo horizontal e vertical.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica desta pesquisa irá tratar da Disposição Final de Resíduos Sólidos e focar posteriormente no tema: Tratamento de Efluentes em *wetlands*.

3.1. Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos

Os países desenvolvidos foram os primeiros a sofrer com a questão dos resíduos sólidos nas cidades, em razão do alto nível de industrialização e urbanização existente, mas com o crescimento populacional, os países subdesenvolvidos começaram a sentir os efeitos causados pelos resíduos (CORREIA, 2003).

A urbanização, na maioria das cidades, se deu de forma não planejada, o que acarretou em diversos problemas estruturais, tais como a falta de uma política de geração de emprego e renda, bem como de uma política de saneamento básico adequada, evidenciando, especificamente, a gestão dos resíduos sólidos urbanos (PEREIRA e MELO, 2008).

Pereira e Melo (2008), falam sobre a problemática do município de Campina Grande na Paraíba que também enfrenta problemas com o gerenciamento de resíduos. Campina Grande coleta seus resíduos e os descarta sem que haja nenhuma segregação. O foco do estudo foi caracterizar o panorama de gestão dos resíduos sólidos no município e suas implicações sobre a socioeconomia local. Em sua conclusão, foi possível verificar a necessidade urgente de adoção de políticas públicas de gestão ambiental com inclusão social na área.

Segundo Gomes e Gehling (2007), a forma mais adequada de disposição de resíduos sólidos domésticos é o aterro sanitário que corresponde a uma metodologia de disposição no solo com critérios de engenharia e rigores técnicos, confinando os resíduos no menor volume possível, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando impactos ambientais.

O aterro sanitário funciona como um reator anaeróbio, devido às condições predominantes de ausência de oxigênio. Normalmente existe na composição dos resíduos um predomínio de matéria orgânica, matéria esta que sob a influência de agentes naturais, como a chuva e os microrganismos, sofrem mudanças dentro do aterro. Elementos constituintes são carregados pela água da chuva que inadvertidamente percola pelos

resíduos, gerando como subprodutos o biogás e o lixiviado, principais produtos do processo e potenciais causadores de impactos ambientais locais (GOMES, 2009).

Segundo Beltrão (2006), o lixiviado é um líquido com grandes concentrações de matéria orgânica e nutrientes (nitrogênio e fósforo) sendo essas concentrações variáveis e dependentes diretamente da composição do resíduo gerado e da idade do aterro. As Tabelas 1 e 2 são uma compilação de diversos trabalhos. Apresentam a heterogeneidade das composições de lixiviados de aterros no Brasil e em outros países, justificando a variação qualitativa pela variedade dos resíduos geradores do efluente. Elas apresentam as características do lixiviado em estudos da primeira e segunda metade da década de 2000, respectivamente.

Tabela 1: Composições verificadas em lixiviado de diversos aterros sanitários no mundo na primeira metade da década de 2000.

Parâmetro	Localidade										
	Recife PE	João Pessoa PB	Vitória ES	Bauru SP	Pirajá RJ	Sauípe BA	Gramacho RJ	Esval, Akershus Noruega	Bólstad, Akershus Noruega	Devizes Inglaterra	
Idade da massa de lixo	Indefinida(1)	Indefinida(2)	3 anos	Indefinida(3)	2 anos	1 ano	indefnida(4)	indefnida(5)	indefnida(6)	indefnida(7)	
pH	7,17 a 8,62	7,36 a 7,85	8,57		8	7,9	8,2 a 8,3	6,3 a 7,8	6,9 a 8,0	6,8 a 7,8	
Condutividade elétrica (mS/cm)	3000 a 5090	>5000		9,13	>20.000			182 a 835	28 a 971	1210 a 1472	
Alcalinidade(mg/L)	492 a 12.590	880 a 2000			3540					614 a 740	
Nitrogênio											
Amoniacal (mg/L)		8,4 a 52	687,09		456	709	756 a 802	36 a 295	1 a 228	16,7 a 31	
Cloretos(mg/L)	158 a 7501	450 a 560	1890		1280		4129 a 5142			83 a 108	
Nitrato (mg/L)		1,2 a 23,5	<0,01							<0,1	
Nitrato (mg/L)		0,45 a 1,3	4,95					0,02 a 0,38	0,1 a 33	0,3 a 1,0	
Ferro total (mg/L)		7,0 a 59	85	12,98		15,27	4,63 a 8,0	0,77 a 131	1,69 a 196	12 a 28	
Cobre (mg/L)	0,03 a 2,4	0,1 a 0,74	0,03	0,24	0,03		0,08 a 0,15	0,12 a 61	0,5 a 30	<0,01 a 0,03	
Zinco(mg/L)	0,16 a 10,79	1,37 a 10,0	0,4	5,12	0,06	0,22	0,21 a 0,25	20 a 6240	20 a 135	0,05 a 0,11	
Cádmio(mg/L)	0,007 a 0,35	<=0,04		0,07	0,01		<0,01	0,55 a 3,2	0,1 a 0,6	<0,002 a 0,01	
Cobalto(mg/L)	0,01 a 1,01	0,02 a 0,55		0,07			<0,1 a 0,25				
Mangansês (mg/L)	0,15 a 2,95	0,07 a 0,12	0,5	0,78		0,23	0,05 a 0,21	1,78 a 10	0,6 a 2,4	0,5 a 0,99	
Chumbo (mg/L)	0,09 a 2,63		0,03	0,7		0,1	<0,01	1,0 a 26	1,0 a 35	<0,01 a 0,02	
Cromo (mg/L)	0,04 a 0,65	0,03 a 0,24	<0,02	0,56			0,1 a 0,83	0,04 a 59	7 a 20	<0,01 a <0,1	
DBO5 (mg/L)	59 a 18.850	28 a 292	1600		287	1521	150	33 a 1698	7 a 255	1,4 a 5	
DQO (mg/L)	679 a 37.900	336 a 472	3637		933	7320	3455 a 3470	1896 a 6325	148 a 2100	25 a 64	
Referência	PAES (2003)	EMLUR e ATEPE (2003)	COUTO e BRAGA (2003)	MODELLI (2004)	CAMPOS et al. (2002)	COSTA (2002)	SILVA (2002)	MAEHLUM (1997)	MAEHLUM (1997)	ROBINSON et al. (2002)	

(1) o lixo vem sendo depositado desde 1984, durante dez anos funcionou como lixão e a partir de 1994 como aterro controlado; (2) funcionou como lixão de 1958 até 2003, quando foi desativado e teve início o processo de remediação da área; (3) funcionou como lixão de 1974 até 1990, quando teve início o processo de transformação para aterro controlado; (4) em operação desde 1978; (5) em operação desde 1962; (6) em operação desde 1972; (7) em operação desde os anos 70.

Fonte: BELTRÃO, (2006).

Tabela 2: Composições verificadas em lixiviado de diversos aterros sanitários no Brasil na segunda metade da década de 2000.

Parâmetro	Localidade										
	Londrina - PR	Niterói - RJ	João Pessoa - PB	Belo Horizonte - MG	Gramacho - RJ	Gerició - RJ	Experimental UNB Brasília - DF	Jaboatão dos Guararapes - PE	São Leopoldo - RS		
Alcalinidade(mg/L)	4.227 (2558-5395)	4618 (477-6105)	10770 (8200-14291)	6115 (672-8272)	8607 (2800-24000)	5613 (1350-9000)	1391 (272-4540)	7443 (4976-11593)	5129 (589-13048)		
pH	-	7,8 (7,5-8,5)	8,3 (8,0-8,6)	8,2 (8,0-8,6)	8,4 (7,7-9,1)	8,1 (7,4-9,0)	8,5 (6,9-9,3)	8,2 (7,6-8,7)	7,8 (7,0-9,0)		
Cor (UC)	-	3158 (1148-6200)	-	-	4129 (240-13400)	2275 (302-9500)	-	10089 (6115-14535)	-		
DBO (mg/L)	111 (42-248)	600 (158-1414)	3638 (3516-3760)	124 (20-260)	361 (118-857)	279 (106-2491)	-	2788 (467-4526)	3211 (115-7830)		
DQO (mg/L)	2151 (931-3306)	1525 (685-1913)	12924 (3244-25478)	2739 (1504-3089)	2767 (804-4255)	1623 (672-2592)	1820 (170-5210)	4750 (2102-8416)	5141 (9777-1319)		
Nitrogênio Total (mg/L)	821 (458-1081)	-	-	1352 (581-1716)	1187 (420-3122)	10001 (7,28-2774)	139 (67-241)	-	1225 (210-3896)		
Nitrogênio Amoniacoal (mg/L)	713 (373-1110)	903 (677-1394)	2004 (1024-2738)	1175 (527-1716)	1547 (76-3565)	1323 (68-2630)	98 (5-274)	1492 (697-2052)	826 (136-1803)		
Nitrato (mg/L)	-	<0,01	238 (176-288)	-	0,3 (0,02-2,4)	0,22 (0,01-2,29)	1 (0-7)	-	0,25 (0,1-0,5)		
Orto-fosfato (mg/L)	-	-	10 (7,7-13)	-	1,6 (0,1-6,2)	0,89 (0,1-3,1)	41 (3,3-104)	-	15 (2,9-32)		
Fósforo total (mg/L)	2 (1-3)	5,5 (5,4-5,5)	23 (23-23)	23 (11-38)	13 (0,82-25,8)	9 (0,4-4,5)	-	-	-		
Cloreto (mg/L)	-	2103 (247-5727)	-	2314 (1432-3857)	35 (14-60)	22 (3-49)	-	11,3 (0,6-22)	14 (1,9-26)		
Turbidez (UNT)	-	44 (2-390)	-	-	3822 (1904-5804)	2639 (767-24001)	-	469 (227-760)	-		
SDT (mg/L)	-	5819 (4590-7623)	8288 (11731-24845)	-	208 (19-605)	104 (9-251)	-	206 (135-288)	-		
SDV (mg/L)	-	-	-	-	11838 (356-18078)	6024 (1347-8343)	-	8890 (6500-10200)	-		
SST (mg/L)	88 (37-136)	127 (40-473)	329 (121-645)	34 (12-67)	58 (13-256)	41 (9-293)	-	1485 (882-2082)	-		
SSF (mg/L)	24 (3-51)	-	84 (8-154)	13 (2,5-42)	17 (0-133)	15 (0-206)	-	591 (306-1020)	-		
SSV (mg/L)	65 (34-117)	68 (12-210)	245 (113-490)	22 (3-53)	39 (2-153)	27 (3-100)	-	898 (522-1250)	-		
ST (mg/L)	7669 (4010-18845)	5945 (4612-7726)	16331 (11852-25490)	-	11878 (440-18160)	5872 (397-8370)	-	10396 (7760-11651)	-		
SV (mg/L)	2643 (1062-12605)	-	7634 (3280-11884)	-	2118 (370-7718)	13560 (260-7541)	-	2940 (2300-4260)	-		
SF (mg/L)	5013 (2922-6351)	-	8698 (1484-13606)	-	-	-	-	7005 (1959-8680)	-		

(média (mín-máx))

Fonte: LANGE e AMARAL, (2009)

O processo de geração do lixiviado pode ser influenciado por fatores climáticos (precipitação, evapotranspiração e temperatura), hidrogeológicos (escoamento superficial, infiltração, topografia e geologia), recirculação do lixiviado, pelas características da camada de cobertura dos aterros (tipo de material, umidade, vegetação, declividade), características dos resíduos (composição gravimétrica, compactação, permeabilidade, granulometria, peso específico) e pelo método de impermeabilização do local (modificado de LANGE e AMARAL, 2009).

Todas as questões citadas anteriormente influenciam diretamente nas características do lixiviado gerado. Esse conjunto de fatores interferentes na geração, somados as características de cada aterro sanitário faz com que tenhamos lixiviados com características únicas para cada aterro sanitário. Além disso, cada aterro irá apresentar lixiviados com características diferentes, que se mantêm variáveis ao longo do tempo, ou seja, estão em constante mudança, conforme ocorre a biodegradação dos resíduos aterrados.

Ainda segundo Lange e Amaral, (2009) acredita-se que o potencial poluidor do lixiviado seja inversamente proporcional ao tempo de aterramento dos resíduos.

Renou *et al.* (2008) realizaram uma revisão sobre o tratamento de lixiviados de aterros sanitários. Eles investigaram a geração dos lixiviados, a biodegradação, métodos químicos e físicos e processos por membrana. Vários quadros permitem analisar e resumir cada tratamento e sua eficiência, dependendo das condições. Os autores dizem que se considerando a rigidez das normas quanto aos limites dos lançamentos, os tratamentos de lixiviado de aterros convencionais aparecem sub-dimensionados ou não permitem atingir as especificações exigidas pelo legislador. Assim, novas tecnologias ou melhorias foram desenvolvidas tentando alcançar eficácia técnica e financeira. O resultado da revisão dos autores relata que o uso de tecnologias de membrana, mais particularmente, a osmose reversa, como etapa única ou como etapa de pós-tratamento no tratamento dos lixiviados do aterro tem demonstrado ser um meio indispensável para alcançar os padrões de lançamento exigidos.

3.2 Tratamento de efluentes em *wetlands*

O lixiviado é um efluente de difícil tratabilidade devido às suas características heterogêneas, às altas concentrações de compostos tóxicos e sua variabilidade. O potencial tóxico e poluidor do lixiviado depende principalmente da idade da massa de lixo, do teor de metais pesados, das características físico-químicas, da presença de microrganismos e do

processo de lixiviação (FERREIRA *et al.*, 2006). A toxicidade tem sido pouco correlacionada com a concentração de nitrogênio amoniacal e a DQO, no entanto a remoção conjunta destes dois parâmetros parece reduzir a toxicidade do lixiviado (SILVA, 2002).

Os sistemas de *wetlands* são ecossistemas artificiais com diferentes tecnologias, utilizando os princípios básicos de modificação da qualidade da água dos *wetlands* naturais (SALATI, s/d). Segundo Garcia *et al.* (1997), eles podem ser considerados reatores bioquímicos projetados para tratamento de efluentes (esgoto, águas de drenagem de campos de agricultura, lixiviados de aterros e alguns efluentes industriais). Geralmente o tratamento é secundário ou terciário, complementando um sistema de depuração biológica convencional.

Os *wetlands* são sistemas naturais projetados sob critérios de engenharia e empregados inicialmente no tratamento de esgotos domésticos. Estes sistemas de tratamento foram desenhados e construídos para o tratamento de efluentes domésticos e industriais, visando principalmente a decomposição da matéria orgânica e a remoção das formas de nitrogênio e fósforo pela transformação e absorção direta pelas macrófitas aquáticas (COOPER e FINDLATER, 1990).

Dois tipos de *wetlands* são os mais utilizados em sistemas de tratamento: o de escoamento superficial (Figura 1) em que a lâmina líquida ultrapassa o topo do leito suporte; e o de fluxo subsuperficial (Figura 2) em que a lâmina líquida fica abaixo do topo do leito filtrante, no âmbito das raízes das macrófitas (SCHIMANKO, 2008).

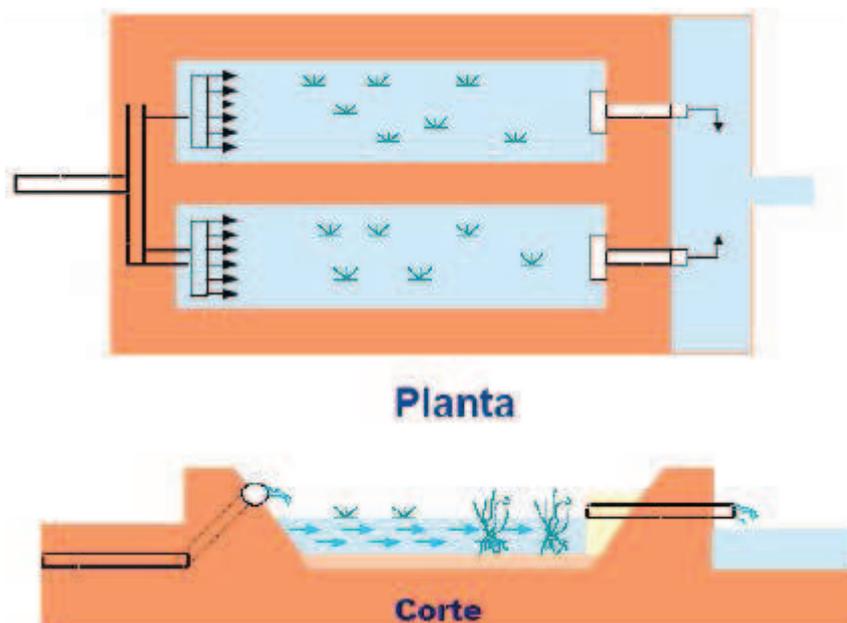


Figura 1: Configuração típica de *wetlands* de Fluxo Superficial

Fonte: KLADEC e KNIGHT, (1996) *apud* LAUTENSCHLAGER, (2001).

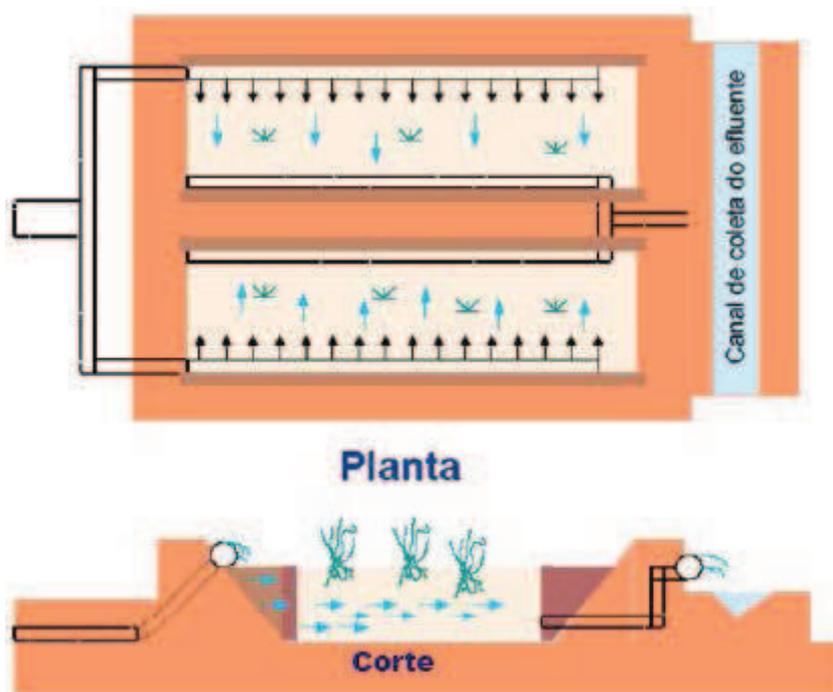


Figura 2: Configuração típica de *wetlands* de Fluxo Subsuperficial

Fonte: KLADEC e KNIGHT, (1996) *apud* LAUTENSCHLAGER, (2001).

Wetlands com fluxo superficial horizontal são sistemas para tratamento de águas residuárias com baixo custo de implantação e operação. O fluxo de líquido a ser tratado passa lentamente em todas as pedras (meio suporte) e raízes e rizomas das plantas. A

remoção de contaminantes ocorre como resultado de complexas interações físicas, químicas e microbianas (KLADEC e KNIGHT, 1996 *apud* CASELLES-OSORIO e GARCIA, 2006).

A eficiência desses processos pode variar no tempo e no espaço, e dependerão de muitos fatores, como a carga orgânica superficial, a profundidade da água e a disponibilidade de aceptores de elétrons (GARCIA *et al.*, 2004; AGUIRRE *et al.*, 2005 *apud* CASELLES-OSORIO e GARCIA, 2006).

O nitrogênio é, em geral, o elemento que as plantas necessitam em maior quantidade. Na sua maior proporção é absorvido pelas raízes na forma de nitrato. O efeito externo do nitrogênio mais visível é a vegetação verde e abundante. O fósforo estimula o crescimento das raízes, garante uma “arrancada” vigorosa, apressa a maturação, estimula o florescimento e ajuda a formação das sementes e aumenta a resistência ao frio (MALAVOLTA, 1989).

Kissmann (1997) descreve que a *Typha*, vulgarmente conhecida por Taboa, é uma planta pertencente à família *Typhaceae*, originária da América do Sul. É uma planta daninha aquática encontrada frequente em margens de lagos, lagoas ou represas, canais de drenagem e baixadas pantanosas em geral. Plantas de *Typha* absorvem metais pesados, inclusive o cobre, podendo contribuir para o saneamento ambiental.

Embora as plantas venham a tratar lixiviado pós tratamento, os estudos podem ser ampliados em decorrência das *Typha* nas margens dos rios ajudarem a conter o processo erosivo e ajudar na depuração das águas.

Estas macrófitas são importantes fontes de energia e matéria para as cadeias alimentares em ecossistemas aquáticos. Além disso, propiciam abrigo para reprodução e proteção de organismos aquáticos e pássaros, retiram o excesso de substâncias tóxicas na água, promovem a heterogeneidade espacial e temporal no corpo hídrico que favorece a biodiversidade biológica e de outros organismos aquáticos, além de proteger as margens do corpo hídrico contra o processo erosivo (AGEVAP, 2007).

Se por um lado os *wetlands* possuem um baixo custo e são ecologicamente corretos, por outro, o tempo para a obtenção dos resultados pode ser longo, pois depende do ciclo vital da planta. É de ser considerado também que a concentração de poluentes e a presença de toxinas em faixas de intolerância podem afetar o sistema tornando-o ineficaz (PLETSCH *et al.*, 1999).

Segundo Beltrão (2006), a *Typha* é morfologicamente adaptada para se desenvolver em sedimentos inundados em decorrência dos grandes volumes de espaços internos capazes de transportar oxigênio para o sistema radicular. E, suas contribuições através de processos de remoção de poluentes são: 1) contaminantes degradados por meio da biomassa aderida ao material suporte (biofilme); 2) poluentes são absorvidos pelas raízes ou degradados por bactérias que nelas se alojam, em seguida, os contaminantes são armazenados ou transportados e acumulados nas partes aéreas das plantas.

Em linhas gerais, é uma planta de 1,10 a 2,50 metros de altura, com folhas que sobrepõem, bainhas inferiores paulatinamente continuadas na lâmina, e as superiores mais auriculadas; lâmina de 0,34 a 1,20 metros de comprimento por 0,5 a 1,6 centímetros de largura, anverso plano, verso suavemente convexo. Floresce e frutifica de julho a fevereiro (REITZ, 1984).

A Figura 3 ilustra a *Typha* que Silvestre e Jesus (2002) *apud* Beltrão (2006) descrevem da seguinte maneira: Planta rizomatosa perene, aquática ou semi-aquática de caule ereto (de 1,5 a 3 metros de altura), folhas basais retas, lineares e lisas, secção transversal no formato da letra “D” (de 0,9 a 3 metros de comprimento e 0,8 a 2 centímetros de largura). De cada broto surgem de 12 a 16 folhas de cor verde com estrutura comparável a uma fita, com secção esponjosa contendo canais de ar. Suas folhas não se prolongam para além da espiga. Seus rizomas são robustos numa faixa de 0,6 a 3,2 centímetros de diâmetro e alcançam até 70 centímetros de comprimento. Estas raízes estabelecem-se a uma profundidade entre 7,5 a 10 centímetros abaixo do nível do solo e suas flores são em formato de espiga densa e castanha escura na parte superior do caule.



Figura 3: *Typha* florida fotografada no experimento dessa pesquisa

Meira *et al.* (2001), estudaram o desempenho de um sistema de *wetlands* de fluxo sub-superficial com *Typha*, constituído por dez tanques com 2 tempos de detenção

hidráulica, 5 e 10 dias, alimentado com água de um córrego poluído com esgoto doméstico. A Tabela 3 apresenta a síntese dos resultados obtidos nos primeiros meses de monitoramento.

Tabela 3: Síntese dos resultados obtidos em *wetlands* de fluxo sub-superficial com *Typha*

Parâmetro	TDH = 5 dias		TDH = 10 dias	
	TC	<i>W</i>	TC	<i>W</i>
	Remoção (%)			
DBO	77,8	77,8	83,3	83,3
Nitrogênio amoniacal	50,2	67,3	74,2	77,9
Fósforo Total	15,7	46,9	27	48,9
Ortofosfato Solúvel	15,7	42,3	21,4	50,2
Coliformes Termotolerantes	15,7	97,0	27,0	99,1
Estreptococos Fecais	15,7	93,9	21,4	98,0

W: *Wetland* TC: Tanque Controle

Fonte: MEIRA *et al.*, (2001)

Vymazal (2002) realizou uma revisão bibliográfica a respeito da aplicação dos *wetlands*. Segundo o autor, estes *wetlands* têm sido intensamente estudados na República Checa a mais de 30 anos, sendo que o primeiro em escala real para tratamento de águas residuais data de 1989. Até ao final de 1999 cerca de 100 *wetlands* foram colocados em funcionamento. A maioria dos sistemas são horizontais de fluxo sub-superficial e são concebidos para o tratamento secundário das águas residuárias domésticas. A dimensão dos *wetlands* varia de 18 a 4500 m². Os materiais mais comumente utilizados como meio suporte são material rochoso, cascalho e fragmentos de rocha e *Phragmites australis* é a planta mais utilizada. A eficiência do tratamento foi elevada em termos de DBO 5 dias, resultando em 88,0% e 84,3% de sólidos suspensos.

Sousa *et al.* (2004) relatam o desempenho de *wetlands*, operados com efluente proveniente de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente. A eficiência da remoção de material carbonáceo variou de 70 a 86%, a DQO manteve-se na média de 60 mg/L. Obtiveram remoção de nitrogênio e fósforo de 66 e 86% respectivamente. O *wetland* vegetado apresentou maior eficiência na remoção de coliformes termotolerantes, quando comparado ao não vegetado. No entanto a análise de variância realizada demonstrou que não há diferença significativa em relação à remoção de coliformes entre um e outro.

Toniato *et al.* (2005) avaliaram um *wetland* para o tratamento de esgoto durante 5 meses. Os resultados mostraram reduções médias de 67 % para DBO, 76 % de DQO, 87 %

para turbidez, 12 % para Fósforo Total, 26 % para Nitrogênio Total Kjeldahl, 16 % para Nitrato, entre 72 – 99,86 % para coliformes totais e entre 69 – 99,98 % para coliformes termotolerantes.

Sezerino *et al.* (2005) apresentaram a aplicabilidade dos *wetlands* de fluxo horizontal como tratamento complementar do esgoto efluente de lagoa facultativa, empregado sob condições climáticas do Sul do Brasil. No monitoramento, foi evidenciado remoção de DQO de 73% e de DBO, 5 dias de 63%. Remoção de 82% de Sólidos Suspensos, pH médio de 7,0 e retenção de Fosfato somente nos 3 primeiros meses de operação. Eficiente desinfecção apresentando concentração no efluente final inferior a 10^3 NMP de *E. Coli.*/100mL

Naime e Garcia (2005), realizaram uma revisão bibliográfica sobre macrófitas no pós-tratamento de efluentes agro-industriais e verificaram que elas se mostram eficientes. Os resultados das reduções de poluentes em testes de agroindústrias indicam que a DBO se reduz entre 99 e 99,5%, a DQO sofre remoção entre 99,5 e 99,7%, o Nitrogênio se reduz entre 79% e 89% e o Fósforo entre 54% e 72%. Concluíram que a necessidade de remoção de macronutrientes como o Nitrogênio e o Fósforo tornam a utilização das macrófitas uma alternativa importante pela sua eficiência e baixo custo.

Mannarino *et al.* (2006), estudaram o tratamento de lixiviado de aterro sanitário em dois *wetlands*, um no aterro de Piraí (plantado com *Typha*) e outro no aterro de Gramacho (plantado com uma gramínea local), ambos alimentados com efluente da saída dos filtros biológicos aeróbios. Os autores afirmam que o *wetland* de Gramacho mostrou-se flexível para tratar diferentes cargas de poluentes, com bons níveis de eficiência. O *wetland* plantado com *Typha* no Aterro Sanitário de Piraí, apresentou bons resultados de remoção de matéria orgânica (41% de DQO e 57% de DBO), nitrogênio amoniacal (51%) e sólidos (60%), apesar das significativas variações de vazão afluente e das taxas de aplicação de poluentes no mesmo.

Os *wetlands*, segundo Calheiros *et al.* (2007), também podem ser aplicados no tratamento de águas residuárias da indústria de curtumes. Eles pesquisaram a sobrevivência de diferentes espécies vegetais em *wetlands* com fluxo horizontal sub-superficial ao receber o efluente mencionado anteriormente. Foram construídas cinco unidades-piloto com diferentes vegetações, *Canna indica*, *Typha latifolia*, *Phragmites australis*, *Stenotaphrum secundatum* e *Iris pseudacorus*, e uma sexta unidade foi deixada sem vegetação para controle. O desempenho dos sistemas de tratamento no âmbito de duas diferentes taxas de carga hidráulica, 3 e 6 cm/dia, foi avaliado. A DQO foi reduzida em

41-73% para uma entrada de carga orgânica variando entre 332 e 1602 kg/ha.dia e DBO 5 dias, 41-58% para uma entrada de carga orgânica variando entre 218 e 780 kg/ha.dia. A remoção de nutrientes ocorreu em menor intensidade quando comparada com a remoção de DQO e DBO 5 dias. *Phragmites australis* e *Typha* foram as únicas plantas capazes de se estabelecer com sucesso, as demais não sobreviveram. Apesar da alta remoção de compostos orgânicos a partir da água residuária afluente, durante 17 meses de operação, não foram observadas diferenças no desempenho entre as unidades.

Brasil *et al.* (2007) estudaram a remoção de nutrientes de esgoto doméstico proveniente de tanque séptico pela macrófita *Typha* cultivada em *wetlands*. As plantas, neste experimento, possuíam profundidade média das raízes de 27,15 cm, o que resultou em bom desenvolvimento da taboa, possibilitando a partida do sistema em quatro meses após o estabelecimento da vegetação. Por meio da remoção da biomassa aérea, a remoção de Nitrogênio Total, Fósforo, Potássio e Sódio foi de 1,69%, 1,64%, 4,94% e 0,74%, respectivamente.

Almeida *et al.* (2007), avaliaram a eficiência de substratos e de espécies vegetais no tratamento de esgoto sanitário, num sistema de fluxo subsuperficial descendente, após decantação. As espécies avaliadas foram Taboa (*Typha angustifolia* L.), lírio do brejo (*Hedychium coronarium* J. König), conta-de-lágrima (*Coix lacryma-jobi* L.) e Capim Angola (*Urochloa mutica* (Forssk.) T.Q. Nguyen). Foi feita uma camada de drenagem com brita nº 1 ou fibra seca de casca de coco verde. O sistema mostrou-se eficiente na remoção de poluentes do esgoto, atendendo aos padrões estabelecidos pela legislação brasileira vigente, exceto para o nitrogênio amoniacal. A taboa e o lírio-do-brejo mostraram-se mais eficientes na remoção da DBO, na oxigenação do substrato, na remoção do nitrogênio amoniacal e na remoção de coliformes totais e termotolerantes. A taboa foi mais eficiente na remoção de fosfatos. A eficiência na remoção de coliformes atingiu níveis próximos à totalidade. Dentre os substratos avaliados, a casca de coco foi o menos eficiente na remoção da DBO e da DQO e na remoção do nitrogênio amoniacal e dos coliformes.

Sun e Austin, (2007) investigaram a transformação de poluentes nitrogenados em *wetlands* de fluxo vertical através da análise do equilíbrio de massa. O tratamento do lixiviado de aterro sanitário foi realizado em quatro colunas de *wetlands* sob condições predominantemente aeróbias. O nitrogênio total no lixiviado consistiu principalmente de amônia, com menos de 1% de nitrato e nitrito, e percentual desprezível de nitrogênio orgânico. Houve uma significativa perda de 52% de nitrogênio total em uma das colunas, enquanto que as outras colunas não demonstraram perdas ou perdas menores que 12%.

Através da análise do equilíbrio de massa, verificou-se que a CANON (Remoção completamente autotrófica do nitrogênio como nitrito) foi responsável pela transformação de nitrogênio na forma gasosa, causando a perda da massa de nitrogênio. Os resultados mostram que a CANON pode ser natural nos sistemas de tratamento aeróbios de engenharia que tratam águas residuárias em *wetlands* que contém alta concentração de NA e baixa DBO.

Escosteguy *et al.* (2008), avaliaram a capacidade de extração de nutrientes das macrófitas *Typha* e *Eleocharis* em monocultivo e consorciadas, em meio contendo brita e lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos. Foram cultivadas em caixas de madeira e em estufas durante 5 meses. Foram avaliados os teores e as quantidades extraídas por uma planta e por área. Em geral, os teores e as quantidades extraídas de nutrientes, por planta e por área não variaram entre o monocultivo e o consórcio, exceto para as quantidades extraídas por área de Fósforo, Potássio e Zinco que foram maiores no consórcio. A extração de macronutrientes foi maior na *Typha* e decresceu na ordem Potássio>Nitrogênio>Cálcio>Fósforo≈Magnésio>Enxofre e para *Eleocharis* Potássio>Nitrogênio>Fósforo≈Cálcio≈Magnésio≈Enxofre, e a de micronutrientes na ordem: Manganês>Ferro>Zinco>Cobre. A quantidade extraída de Potássio foi 648 kg / ha para a *Typha* e 159 kg / ha para *Eleocharis* enquanto a de Manganês foi de 6,6 kg / ha e 1,4 kg / ha para *Typha* e *Eleocharis* respectivamente. As quantidades de nutrientes extraídas variaram de acordo com o teor deles na parte aérea e a produção de matéria seca das macrófitas, sendo secundária a importância da população de plantas, em ambos os tipos de cultivo. A quantidade de nutrientes extraídos do lixiviado pela *Typha* foi expressiva, principalmente de Potássio, Nitrogênio e Manganês.

Calijuri *et al.* (2008), avaliaram o comportamento temporal da eficiência de remoção de nutrientes nitrogênio e fósforo em *wetlands* como pós-tratamento de esgoto sanitário de Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente. Ao longo de 19 meses foram monitoradas quatro unidades experimentais com as seguintes variações de configuração: fluxo superficial e sub-superficial, cultivo de *Typha* e *Brachiaria*, tempo de detenção hidráulica de 2,7 a 7,1 dias. O sistema apresentou grandes oscilações na remoção de nitrogênio total kjeldahl (22 a 67%) e fósforo total (25 a 79%), nitidamente influenciadas pela temperatura e pelo tempo de operação do sistema. Os *wetlands* mostraram excelente desempenho nos períodos iniciais de operação do sistema, porém queda acentuada foi registrada com o passar do tempo, revelando limitações e, principalmente, instabilidade na remoção de nitrogênio e fósforo.

Chen *et al.* (2008), realizaram uma análise integrada dos custos e da eficiência de um *wetland* em escala piloto de fluxo vertical sub-superficial construído em 2004 perto do rio Longdao em Pequim, na China. O *wetland* foi monitorado durante um ano e provou ser uma boa solução para tratar a água poluída e restaurou a saúde do ecossistema do rio Longdao. Uma das plantas utilizadas foi a *Typha*. O sistema de *wetland* foi adaptado de acordo com as condições locais, com menores custos na construção, operação e manutenção que os tradicionais sistemas de tratamento de águas residuais e ocupa menos espaço do que os *wetlands* convencionais. Além disso, a eficiência dos *wetlands* demonstrou remoção de nutrientes da água poluída e desempenho estável em épocas frias.

González *et al.* (2009), estudaram a capacidade dos *wetlands* de fluxo subsuperficial horizontal para o tratamento de águas residuárias da suinocultura em função do tempo de detenção hidráulica e do tipo de macrófitas nas condições locais de Yucatán, no México. Os experimentos foram conduzidos de julho de 2004 a novembro de 2005 em uma fazenda de engorda de suínos. O estudo teve três etapas: primeiro, as macrófitas foram localizadas e recolhidas, em segundo lugar, as plantas foram aclimatadas, e em terceiro lugar, uma escala-piloto com 6 *wetlands* construídos com dimensões de 1,1 m de comprimento, 0,7 m de largura e profundidade de 0,45m foi construída, operada e avaliada. A eficácia dos *wetlands* foi testada em 2 períodos (abril e novembro de 2005). Foram testados tempos de detenção hidráulica de 1, 2 e 3 dias. Os resultados indicam que a eficácia do tratamento melhorou com o aumento do tempo de detenção hidráulica para a maioria dos contaminantes analisados. As maiores taxas de remoção foram registradas em um tempo de detenção hidráulica de 3 dias, variando entre 64 e 78% para sólidos suspensos totais, 52 e 78% para DQO, 57 e 74% para DBO₅, 57 e 79% para nitrogênio total, 63 e 75% para nitrogênio amoniacal, 70 e 81% para o nitrato, 0 e 28% de fósforo total e 3,3 e 4,2 log-unidades de coliformes totais. Os resultados também sugerem que as espécies de macrófitas utilizadas não diferiram significativamente em sua contribuição para a eficiência global de tratamento. No entanto os *wetlands* com plantas melhoraram ligeiramente a qualidade da água, quando comparado aos sistemas sem plantas. Os autores afirmam que *wetlands* com fluxo subsuperficial horizontal são uma tecnologia adequada para o tratamento de águas residuárias de suinocultura nas condições locais de Yucatán e que o tempo de detenção hidráulica é um dos parâmetros de essencial importância para o dimensionamento de futuras instalações de grande escala.

Calijuri *et al.* (2009) realizaram um estudo sobre o comportamento de *wetlands* para a remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes operando como pós-

tratamento de efluentes de reatores UASB (esgotos sanitários). A configuração do sistema foi realizada em unidades de escala piloto de fluxo horizontal, subsuperficial e superficial, com tempos de detenção hidráulica entre 1,3 a 5,3 dias. O experimento foi dividido em três fases operacionais, variando-se o tipo de fluxo, a espécie de macrófita e a vazão (por conseguinte, o tempo de detenção hidráulica, TDH, e a taxa de aplicação hidráulica superficial, TAS) com o intuito de avaliar a influência dessas variáveis no desempenho dos *wetlands*. Na primeira fase, a configuração foi: duas unidades de fluxo superficial e outras duas de fluxo subsuperficial; cada tipo de fluxo apresentava uma unidade plantada com *Typha* sp. e outra com *Brachiaria arrecta*. Nas fases 2 e 3, a configuração foi a seguinte: as quatro unidades em paralelo passaram a operar com fluxo subsuperficial, sendo a vazão afluente a única diferença entre essas duas fases. Os resultados apresentados pelos autores indicam remoções de matéria orgânica e de sólidos elevada e estável, com eficiências médias de 70, 80 e 60% para SST, DBO5 e DQO, respectivamente. Eles ainda comentam que a remoção de nutrientes, após início promissor, mostrou-se instável e aparentemente influenciada pela temperatura. O sistema de tratamento revelou elevado potencial de remoção de coliformes, embora com variações relativamente amplas ao longo do período de operação: aproximadamente 10^2 NMP/100mL de remoção de coliformes totais e de 10^2 a 10^4 NMP/100mL de remoção de *Escherichia coli*.

Yalcuk e Ugurlu (2009), estudaram o tratamento de lixiviado em *wetlands* na Turquia. Os autores avaliaram os fluxos vertical e horizontal em *wetlands* plantados com *Typha*. Foram construídos 3 *wetlands*, com dimensões de 1m x 0,5m x 0,4m cada, sendo dois deles de fluxo vertical (VF1 e VF2) e um de fluxo horizontal (HF). Todos os 3 *wetlands* foram povoados com plantas e o meio suporte empregado foi diferente em cada um dos *wetlands* (VF1 difere do VF2 por ter uma camada de zeolita). Os autores realizaram aclimação das plantas com lixiviado diluído, mas não relataram quais os percentuais de diluição. A alimentação de efluente nos *wetlands* foi feita de forma intermitente com vazão de 10L / dia, com tempos de detenção hidráulica de 11,8 dias para os *wetlands* com sistema de fluxo vertical e 12,5 dias para o de fluxo horizontal. Os sistemas foram operados durante 123 dias (de junho a novembro de 2004) e o lixiviado foi diluído com água de modo a fixar a concentração de nitrogênio amoniacal na entrada em 150mg/L. As temperaturas médias variaram do início ao fim do período (20°C em junho, 23,6°C em julho, 22,9°C em agosto e 19,3°C em setembro, 14,2°C em outubro e 7,2°C em novembro). A eficiência do sistema foi avaliada através de amostras de entrada e saída do efluente com relação à DQO, nitrogênio amoniacal, nitrato, nitrito, ortofosfato e metais

pesados. As conclusões do estudo remetem a eficiências de remoção de nitrogênio amoniacal de 62,3%, 48,9% e 38,3%; DQO, com remoções de 27,3%, 30,6% e 35,7%; PO4-P, 52,6%, 51,9% e 46,7% e Fe (III), 21%, 40% e 17%, respectivamente para VF1, VF2 e HF. Foi verificado melhor desempenho na remoção de NH4-N no sistema vertical com uma camada de zeolita do que o VF2 e o HF. O sistema horizontal foi mais eficaz na remoção de DQO.

Von Sperling *et al.* (2009), estudaram a remoção de nutrientes de esgoto em um sistema constituído de um reator UASB seguido de dois *wetlands* de fluxo horizontal subsuperficial em paralelo, sendo que um dos *wetlands* foi plantado com *Typha* e o outro não plantado. O meio suporte foi constituído de escória de siderúrgica de alto-forno com granulometria de referência (Brita 0 e 1). Os *wetlands* receberam efluente pré-tratado em reator UASB a uma vazão de 7,5m³ por dia/ *wetland*. Segundo os autores, o desempenho dos *wetlands* foi amplamente satisfatório para a remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos e pouco significativo para a remoção de nutrientes. Eles comentam ainda que apesar do *wetlands* com plantas ter apresentado melhor desempenho para a remoção da maioria dos constituintes, deve-se ser cauteloso para se levar em consideração a real necessidade da utilização de plantas e que não existe resposta definitiva para esta questão.

Após a apresentação dos resultados dessa pesquisa, essa revisão será utilizada como parâmetro de discussão, de forma a comparar e avaliar os resultados dos autores com os encontrados neste trabalho. A partir do levantamento dos estudos verificados na revisão, faz-se necessária a caracterização dos efluentes. O próximo capítulo trata da caracterização do lixiviado e esgoto, utilizados nesta pesquisa, além dos parâmetros mínimos para atendimento da legislação.

4. ÁREA E OBJETO DE ESTUDO

4.1. Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos

De acordo com Paz *et al.* (2000) a água é um recurso natural indispensável à sobrevivência do homem e demais seres vivos do Planeta. É uma substância fundamental para os ecossistemas, solvente universal e importante para a absorção de nutrientes do solo pelas plantas, além de imprescindível às formações hídricas atmosféricas, influenciando o clima das regiões. Nos seres humanos, é responsável por aproximadamente três quartos de sua constituição (MACHADO, 1998). Infelizmente, este recurso natural encontra-se cada vez mais limitado e exaurido pelas ações impactantes do homem nas bacias hidrográficas, degradando a sua qualidade e prejudicando os ecossistemas. A carência de água pode ser, para muitos países, um dos fatores limitantes ao desenvolvimento, já que o atual modelo tecnológico baseado na exploração indiscriminada dos recursos naturais está esgotado (PAZ *et al.*, 2000).

A Lei Federal nº 9.433/97, que instituiu a Política e o Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos fundamenta-se nos princípios de gestão do uso múltiplo das águas e da descentralização das decisões, promovendo, assim, a participação de todos os interessados no processo de gestão de recursos hídricos por bacias hidrográficas, como o poder público, os usuários e as comunidades (MATZENAUER, 2003). O planejamento de recursos hídricos deve ter um enfoque sistêmico, de uso múltiplo das águas e descentralização das decisões, adotando a bacia hidrográfica como unidade de gestão. Dentro deste contexto, os procedimentos clássicos de avaliação de alternativas para planejar o uso, controle e proteção das águas tornam-se limitados por sua impossibilidade de incluir outros critérios, além da minimização dos custos ou da maximização dos benefícios.

A existência do conflito na gestão das águas é gerada pelo aumento da demanda e pelo consumo, o que ocasiona a sua escassez, inviabilizando o acesso de grande parte da população a essa água potável (GALIMBERTI, 2003).

A Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos é responsável por abastecer 32 municípios, dos 496 que compõe o Rio Grande do Sul. O Rio das Ilhas, Paranhana e Rolante são seus principais formadores. A densidade demográfica da Bacia é de 1,3 milhões de habitantes (FEPAM, 2009). A bacia hidrográfica possui 3820 km². Após percorrer um percurso de 190 km,

ele desemboca suas águas no delta do Jacuí, em Canoas (RS) (COMITESINOS, 2007). Diariamente são lançados cerca de 190.000m³ de esgoto doméstico nesta malha hídrica e apenas 5% destes são tratados, sendo a principal causa da condição atual da qualidade das águas da Bacia. O Rio dos Sinos nasce nas montanhas de Caraá e é um dos dez principais rios do Estado e, segundo classificação CONAMA Resolução 357/2005, em 50% de sua extensão se encontra na classe 4. (COMITESINOS, 2007).

Em 2001 foi aprovada a Resolução 17 no CNRH – Conselho Nacional de Recursos Hídricos que estabelece diretrizes para elaboração dos Planos de Bacia. Ao final de 2002, haviam sido elaborados sete Termos de Referência para as Bacias do Lago Guaíba; Tramandaí; Ibicuí; Caí; Pardo; Camaquã; Vacacaí-Vacacaí-Mirim; tendo sido licitados os três primeiros e efetivamente contratado o Plano de Bacia do Lago Guaíba. Além destes, os trabalhos de elaboração dos Termos de Referência tinham sido iniciados no Comitê Taquarí- Antas, Gravataí e Santa Maria sem, no entanto, serem concluídos. Para a Bacia do Turvo -Santa Rosa- Santo Cristo, a montagem dos Termos de Referência para a rede de monitoramento incluía uma fase de diagnóstico semelhante à prevista nos Planos (RASSRHERGS, 2002). Só em 2006, com a mortandade de peixes ocorrida, a Bacia do Rio dos Sinos evidenciou a urgência da elaboração do seu plano. A partir daí, identificou parcerias institucionais e financeiras que resultaram no desenvolvimento de processos, oferecendo às comunidades locais e aos órgãos gestores informações sobre os cursos d'água. Este plano permitirá que sejam reproduzidos em escala real os estudos que até então permearam apenas o meio acadêmico e posteriormente, será feita a implementação do Plano de Bacia.

O Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos (COMITESINOS), existe desde 1988, e antecede à criação do Sistema Nacional de Recursos Hídricos (criado através da Lei nº 9.433, de 8 de Janeiro de 1997) e do Sistema Estadual de Recursos Hídricos (criado através da Lei nº 10.350, de 30 de dezembro de 1994) (COMITESINOS, 2008 *apud* SILVA, 2008).

O sistema de gerenciamento de resíduos sólidos urbanos da Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos com o objetivo de dar um enfoque atual desta questão na bacia percebendo uma necessidade urgente de melhorias. De acordo com o SNIS, 2007 já em 2005, três dos municípios dispunham seus resíduos fora do território da bacia e apenas 10 dos municípios possuíam aterros sanitários (FEPAM, 2009) e 17 dos 18 planos diretores não prevêm espaços adequados para instalações de tratamento e disposição final de resíduos sólidos (BRASIL, 2001 *apud* SILVA, 2008).

4.2 Caracterização dos Resíduos Sólidos em São Leopoldo

Na medida em que já se apresentou a definição de lixiviado (na introdução desse trabalho) é possível concordar-se que para qualquer análise de tratamento de lixiviado de aterro sanitário é necessário primeiramente conhecer-se os resíduos que geraram o mesmo.

A caracterização física média dos RSD – resíduos sólidos domésticos que chegam à Central de Triagem, indicam o tipo de resíduo gerado pela população de São Leopoldo (Tabela 4). Conforme caracterização física dos resíduos gerados e coletados no município de São Leopoldo, podemos verificar que a matéria orgânica é a maior parcela dentre os tipos de resíduos gerados pela população. Após a triagem (eficiência de 10% nos recicláveis), o material é disposto no aterro sanitário em operação no município. Esse sistema de tratamento/disposição final é operado pela empresa SL Ambiental desde outubro de 2003.

Tabela 4: Resíduos sólidos domésticos gerados e coletados em São Leopoldo – RS.

Tipo de resíduo	%
Matéria orgânica putrescível	58,6
Papel ¹	13,2
Plásticos	12,6
Metais	1,5
Vidros	1,7
Outros materiais ²	7,0
Contaminados biológicos ³	4,5
Contaminados químicos ⁴	0,2
Diversos ⁵	0,7

(1) Incluindo papel higiênico, (2) Isopor, embalagem longa vida, madeira, panos, couros e borracha, (3) Fraldas, (4) Pilhas, baterias e lâmpadas, (5) Pedra, terra e cerâmica.

Fonte: Soares *et al.* (2009)

4.3 Lixiviado Gerado no Aterro Sanitário de São Leopoldo

Os resíduos dispostos no Aterro Sanitário (tratamento biológico de RSU) são conseqüentemente, os responsáveis pela geração do lixiviado estudado nesta pesquisa. O lixiviado gerado é monitorado na ETLix - Estação de Tratamento de Lixiviados de São Leopoldo trimestralmente ao longo do ano, conforme exigências da licença de operação do órgão ambiental do RS (FEPAM). No caso da ETLix de São Leopoldo, o sistema de

tratamento é composto de um tanque de equalização (volume útil = 95 m³); 2 lagoas anaeróbias (volume útil = 459 m³ cada lagoa); 4 lagoas facultativas (volume útil = 779 m³ cada lagoa); 2 lagoas de maturação (volume útil = 500 m³ cada lagoa). O TDH médio no sistema todo é de 90 dias. O lixiviado utilizado na pesquisa é pré-tratado, por isso, as características consideradas foram as da saída da última lagoa.

O lixiviado coletado na Estação de Tratamento de Lixiviados (ETLix), em 2008 e 2009 apresentou os valores médios da Tabela 5, sendo que no plantio e aclimação das plantas nos *wetlands* não se utilizou de lixiviado. Para os demais ensaios o lixiviado foi coletado na ETLix e transportado para a universidade.

Tabela 5: Características do lixiviado gerado na saída da ETLix (Ponto de amostragem: saída da lagoa de maturação)

Parâmetro	Etapa de ensaios do tratamento		
	Etapa aclimação (n=3)	Primeiro plantio (n=2)	
	out/08 a jan/09	fev/09 a jul/09	
pH	8,2	8,6	8,1
DBO	1154	750	956
DQO	3386	2166	2781
P total	9,16	7,18	7,27
N total	401	349	318

(Valores médios no período) - Unidade: mg/L, exceto pH: adimensional

Fonte: SL Ambiental (2010)

O monitoramento é importante, pois informa a qualidade do lixiviado que está saindo no sistema de tratamento. Através dos parâmetros físico-químicos e biológicos verifica-se que o lixiviado é um líquido que apresenta alta heterogeneidade e variabilidade. Cabe salientar que o lixiviado é a principal preocupação quanto à degradação ambiental uma vez que apresenta alto poder poluidor. Partindo desse contexto, o órgão ambiental exige através das licenças ambientais emitidas que o lixiviado atenda padrões mínimos de emissão em corpos d'água conforme Resolução CONSEMA 128/2006. De acordo com a Tabela 5, verificou-se que o tratamento do lixiviado feito através das lagoas não está sendo efetivo visto que mesmo após este tratamento, as quantidades de DBO e DQO continuam altas. A Tabela 6 com a caracterização realizada no laboratório da pesquisa demonstra algumas discrepâncias em relação aos resultados monitorados na SL Ambiental como no caso da DBO o qual o valor está acima dos encontrados durante a pesquisa.

Tabela 6: Características do lixiviado gerado na saída da ETLix com análises realizadas no Laboratório de Microbiologia da Unisinos. (Ponto de amostragem: saída da lagoa de maturação)

Parâmetro	Etapa aclimação out/08 a jan/09	Etapa de ensaios do tratamento	
		Primeiro plantio	Segundo plantio
		fev/09 a jul/09	out/09 a fev/10
*n		23;7;23;22;21	18;15;18;18;17
pH	NR	8,6	8,4
DBO	NR	203,2	684,2
DQO	NR	2013,3	1725,6
P total	NR	12,5	8,2
NA	NR	321,3	230,6

*n (número de dados para cada parâmetro, em ordem: pH, DBO, DQO, Ptotal e NA)

4.4 Esgoto Gerado na Estação de Tratamento Unisinos

O esgoto da universidade é tratado na Estação de Tratamento de Esgotos da Unisinos, cujo tratamento primário é feito através de grade e caixa de areia e o secundário, através de reator UASB, além de leitos de secagem para os lodos gerados. A Tabela 7 apresenta os valores de saída da ETE Unisinos no ano de 2008, período em que foi realizado o plantio das *Typha* nos *wetlands*.

Tabela 7: Esgoto sanitário gerado na ETE Unisinos (Ponto de amostragem: saída do reator UASB)

Parâmetro	Etapa plantio jun a set/08	Etapa aclimação out/08 a jan/09	Etapa de ensaios do tratamento	
			Primeiro plantio	Segundo plantio
			fev a jul/09	out/09 a fev/10
pH	7,2 ⁽¹⁾	7,3 ⁽¹⁾	7,2 ⁽²⁾	7,1 ⁽²⁾
DBO	54 ⁽¹⁾	45 ⁽¹⁾	65 ⁽²⁾	45 ⁽²⁾
DQO	89 ⁽¹⁾	90 ⁽¹⁾	130 ⁽²⁾	79 ⁽²⁾
P total	1,2 - 7,6 ⁽³⁾	1,2 - 7,6 ⁽³⁾	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾
N total	9,8 - 21 ⁽³⁾	9,8 - 21 ⁽³⁾	- ⁽⁴⁾	- ⁽⁴⁾

(Valores médios no período) - Unidade: mg/L, exceto pH: adimensional

(4) Dados monitorados nesta pesquisa e que serão apresentados nos resultados.

Fonte: (1) Unisinos, (2008), (2) Unisinos, (2009), (3) Jucá *et al.* (2008)

5 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa experimental desenvolveu-se nas seguintes etapas: 1) construção dos *wetlands*; 2) aclimação das plantas; e 3) monitoramento do processo de tratamento do lixiviado (Figura 4).

4.1. WETLANDS	4.2.ACLIMATAÇÃO DAS PLANTAS		4.3.MONITORAMENTO DO PROCESSO DE TRATAMENTO			
4.1.1.CONSTRUÇÃO DAS UNIDADES: WH e WV	4.2.1.COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE		COMPOSIÇÃO DO EFLUENTE		PARÂMETROS MONITORADOS:	
4.1.2.COLETA DAS PLANTAS NO LAGO ÁREA 5	% ESGOTO (*)	% LIXIVIADO (**)	% ESGOTO (*)	% LIXIVIADO (**)		
4.1.3.PLANTACÃO DAS TYPHA NOS WETLANDS	100	0	92	8		
	99,5	0,5	84	16		
	99	1	36	64	NA, P, DQO e pH	
	98	2	0	100		
	4.2.2.ACOMPANHAMENTO DA COR DAS FOLHAS E CRESCIMENTOS DAS PLANTAS		4.3.2.PLANTIO 2		NA, P, DQO, pH, DBO e Temperatura do ar e do efluente	
			92	8		
			84	16		
			36	64		
			0	100		

(*) Esgoto pré-tratado na ETE Unishos (tratamento primário e Reator UASB)

(**) Lixiviado pré-tratado na ETElix (lagoas em série)

Figura 4: Etapas da pesquisa

5.1 Wetlands

5.1.1 Construção das Unidades WH e WV

As unidades piloto de tratamento de lixiviado foram construídas na área da Estação de Tratamento de Esgotos da Universidade do Vale do Rio dos Sinos. O sistema consiste em quatro reservatórios de alvenaria idênticos, com dimensões de 1 metro (largura) x 2 metros (comprimento) x 0,9 metros (profundidade), 1,8 m³ de volume vazio e 0,8 m³, 1,2 m³, e 1,1 m³ de volume útil para WH0, WH e WV respectivamente. Seu interior foi impermeabilizado com fibra de vidro e preenchido com camadas de brita como meio suporte às plantas, conforme a seqüência de fotos das Figuras 5 a 11.

Dois tipos de *wetlands* foram construídos sendo o primeiro operado como *wetland* de fluxo superficial de escoamento horizontal (WH), onde toda a camada de pedra corresponde à brita 5 (rachão), que segundo a bibliografia é a mais utilizada como meio suporte em filtros. O segundo tipo foi operado como *wetland* de fluxo superficial de escoamento vertical (WV), com três camadas de brita dispostas de baixo para cima da seguinte maneira: brita 1, brita 3 e brita 5. São dois *wetlands* com cada tipo de fluxo, sendo que um de cada não possui as plantas (WH0 e WV0), portanto, estes funcionam no experimento como “branco” no monitoramento. Na fase inicial do experimento, o *wetland* WV0 apresentou problemas estruturais acarretando em vazamentos que não puderam ser reparados. Com isso, o mesmo foi eliminado da pesquisa. Para o plantio das *Typha* nos *wetlands* utilizou-se de material compostado na própria Universidade em uma camada de 10 cm de solo sobre o meio suporte de britas. O material compostado é proveniente do lodo seco do reator UASB juntamente com as folhas e restos de podas das árvores da Universidade.



Figura 5: Etapa 1 de construção dos *wetlands*: alvenaria e reboco



Figura 6: Etapa 2 de construção dos *wetlands*: revestimento em fibra de vidro



Figura 7: Etapa 3a de construção dos *wetlands*: colocação das pedras (brita 5) e detalhe da distribuição horizontal de fluxo nos *wetlands* horizontais.

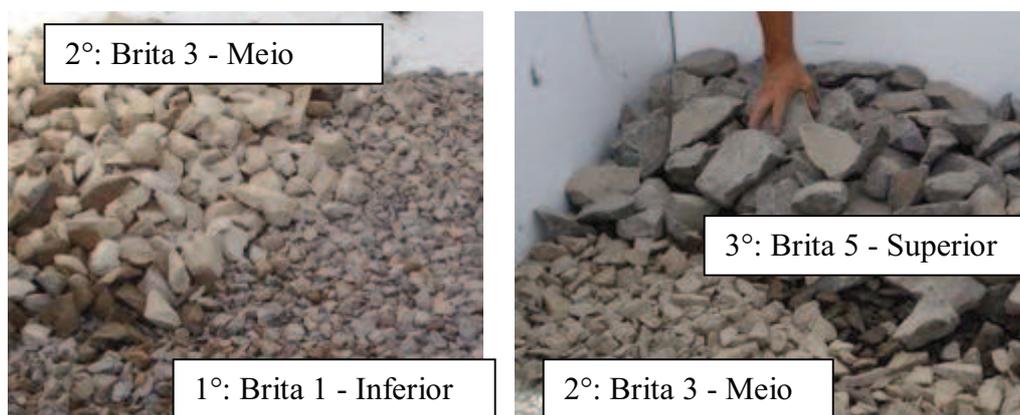


Figura 8: Etapa 3b de construção dos *wetlands*: colocação das pedras (brita 1-inferior, 3-meio e 5-superior) nos *wetlands* verticais.



Figura 9: Etapa 4 de construção dos *wetlands*: colocação do solo sobre o leito de britas.

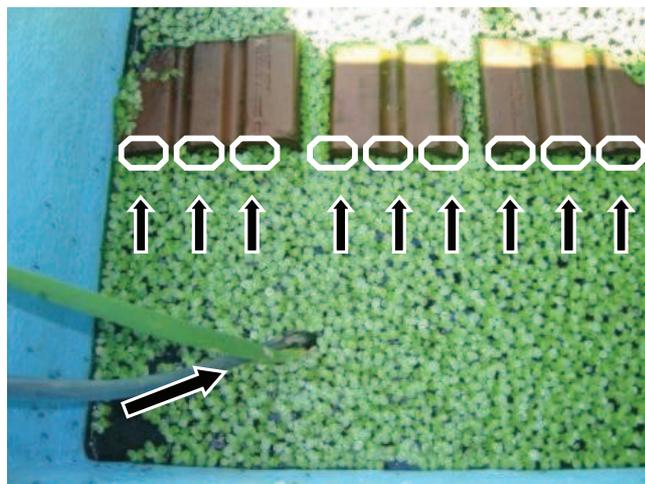


Figura 10: Etapa 5a de construção dos *wetlands*: sistema de distribuição lateral nos *wetlands* horizontais



Figura 11: Etapa 5b de construção dos *wetlands*: sistema de distribuição superior nos *wetlands* verticais.

O efluente é bombeado do reservatório de 5000L (contendo as misturas de lixiviado e esgoto) para os *wetlands* com auxílio de bombas dosadoras na vazão de 13,9L/h por *wetland* (Figura 12). No *wetland* horizontal a entrada se dá à meia altura do nível líquido em um dos lados da unidade e no *wetland* com fluxo vertical ocorre por gotejamento na parte superior do mesmo.



Figura 12: Sistema de distribuição do efluente a ser tratado.

Existem duas saídas de efluente nos *wetlands*, uma é a torneira, mostrada na Figura 13, onde são feitas as coletas do material para análise e a outra controla o nível do *wetland*, conforme Figura 14. Esta segunda deve permanecer gotejando, o que mostra que o reservatório está com a capacidade de efluente adequada.



Figura 13: Saída para coleta de amostras



Figura 14: Saída para controle do nível

5.1.2 Coleta das Plantas no Lago Área 5

O gênero da macrófita escolhida foi a *Typha*, retirada de um dos lagos artificiais da Universidade (Figura 15). A escolha desta planta para fazer parte desta pesquisa se deve por ser uma espécie comumente encontrada na Bacia do Rio dos Sinos e por ser uma das macrófitas mais utilizadas para a depuração de águas.



Figura 15: Coleta das plantas em um dos lagos da Unisinos

5.1.3 Plantio da *Typha* nos *Wetlands*

Após a coleta, as mudas foram cortadas até ficarem com aproximadamente 30 cm, como sugere (ESCOSTEGUY *et al.*, 2008; BRASIL *et al.*, 2007) de forma que as plantas não sofressem tombamento pelo vento já que as raízes ainda não estão fixas no substrato (Figura 16). O replantio das mudas foi feito com propágulos constituídos de plantas completas (rizomas + parte aérea) para que se pudesse perder o menor número possível de mudas. Este método é mais efetivo chegando a 97% de adaptação das mudas (BRASIL *et al.*, 2007).



Figura 16: Planta retirada do lago e posteriormente replantada nos *wetlands*

5.2 Aclimação das Plantas

5.2.2 Composição do Efluente

Nesse trabalho utilizou-se inicialmente esgoto tratado na ETE Unisinos por um período de 4 meses (125 dias). Essa situação confere com o empregado por Brasil *et al.*, (2007) e Lin *et al.* (2005), que conseguiram dar “partida” aos sistemas de tratamento após 3 ou 4 meses de sua implantação.

Utilizou-se esgoto por considerar-se a água potável muito nobre para este uso e em função da disponibilidade desse efluente na área da pesquisa. Esse efluente foi coletado na saída superior do reator UASB da ETE Unisinos, o qual possui as características médias já indicadas no capítulo “Área e Objeto de Estudo”.

Após o período de uso apenas de esgoto foi adicionado lixiviado em pequenas concentrações conforme a Tabela 8 para a aclimação das *Typha* com lixiviado. Esse lixiviado foi transportado para o campus e armazenado no reservatório do experimento. Na ETLix foi coletado na saída final da última lagoa, conforme já informado no capítulo “Área e Objeto de Estudo”.

Tabela 8: Aclimação das *Typha* com lixiviado

Período	Dias de monitoramento	Concentração de lixiviado no esgoto (%)
03/Jun a 05/Out / 2008	125	0
06/Out a 02/Nov / 2008	27	0,5
03 a 30/Nov / 2008	27	1,0
01/Dez / 2008 a 11/Jan/2009	42	2,0

(*) No mês de dezembro o esgoto foi substituído pela água de um dos lagos, dos quais é captada água da chuva, devido a uma manutenção na ETE.

5.2.1 Acompanhamento da Cor das Folhas e Crescimento das Plantas

A aclimação das mudas foi determinada através de acompanhamento fotográfico, realizado semanalmente durante seu crescimento e adaptação até sua estabilidade. Dois critérios visuais foram adotados para a verificação dessa adaptação até sua estabilidade, cor das folhas (verde ou palha) e crescimento.

5.2.1.1 Cor das Folhas

As Figuras 17 e 18 a seguir exemplificam detalhes das “cores” (verde ou palha), sendo que a primeira corresponde a uma boa aclimação e a segunda indicando ressecamento das folhas ou má aclimação.

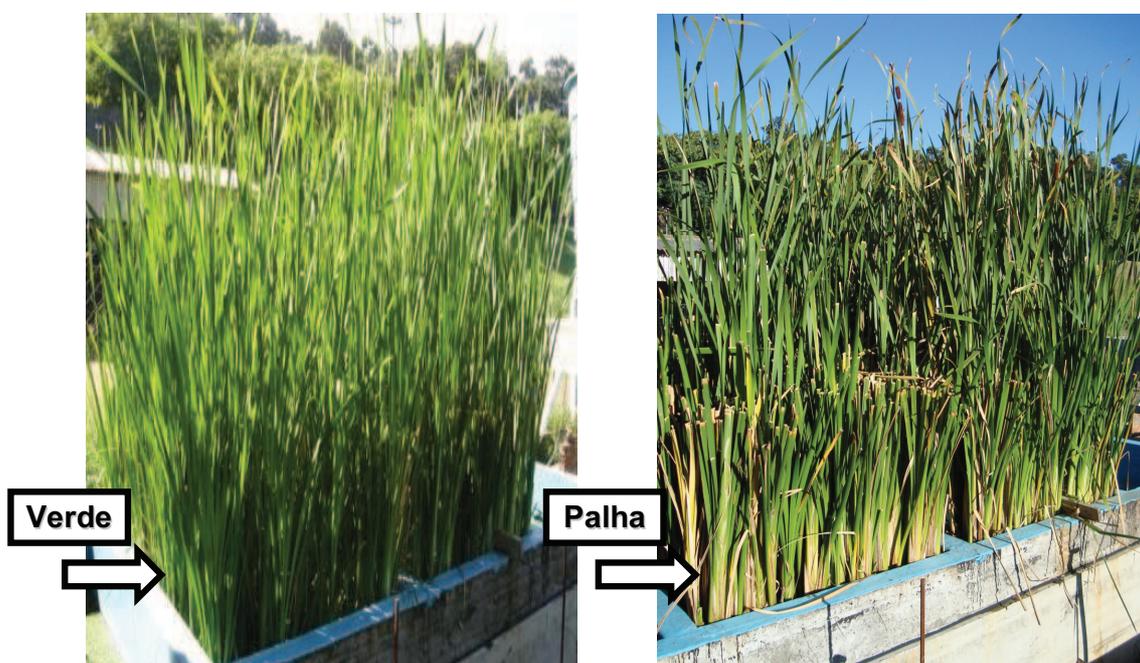


Figura 17: Plantas com folhas de coloração totalmente verdes = Boa aclimação

Figura 18: Plantas com algumas folhas da cor palha = Aclimação ruim

5.2.1.2 Crescimento das Plantas

O crescimento das plantas foi monitorado por fotografias semanais. As fotos estão constituídas de escala gráfica de forma a determinar-se a altura das plantas. Para ilustrar a Figura 19 indica as mudas plantadas, além da indicação de comprimento das últimas fiadas de tijolos. Esta dimensão, por aparecer em todas as fotos, foi considerada o marco base para a extrapolação do tamanho das plantas. Assim, se esta dimensão conhecida em escala real é de 26 cm, por comparação determina-se a dimensão desta parte do *wetland* na régua das fotografias (para o caso da Figura 19 igual a 1,5 unidades). Na seqüência, na fotografia mede-se o comprimento das folhas na régua e realiza-se o cálculo da proporção (no caso, as folhas mediram 7,0 unidades). Esta determinação foi realizada em todas as fotos obtidas em cada dia monitorado, sendo posteriormente assumida a média e o desvio padrão de todas como resultado final.

Este método foi realizado como alternativa para o acompanhamento do crescimento das plantas já que não ocorreram medições diretas e sim apenas registros fotográficos.

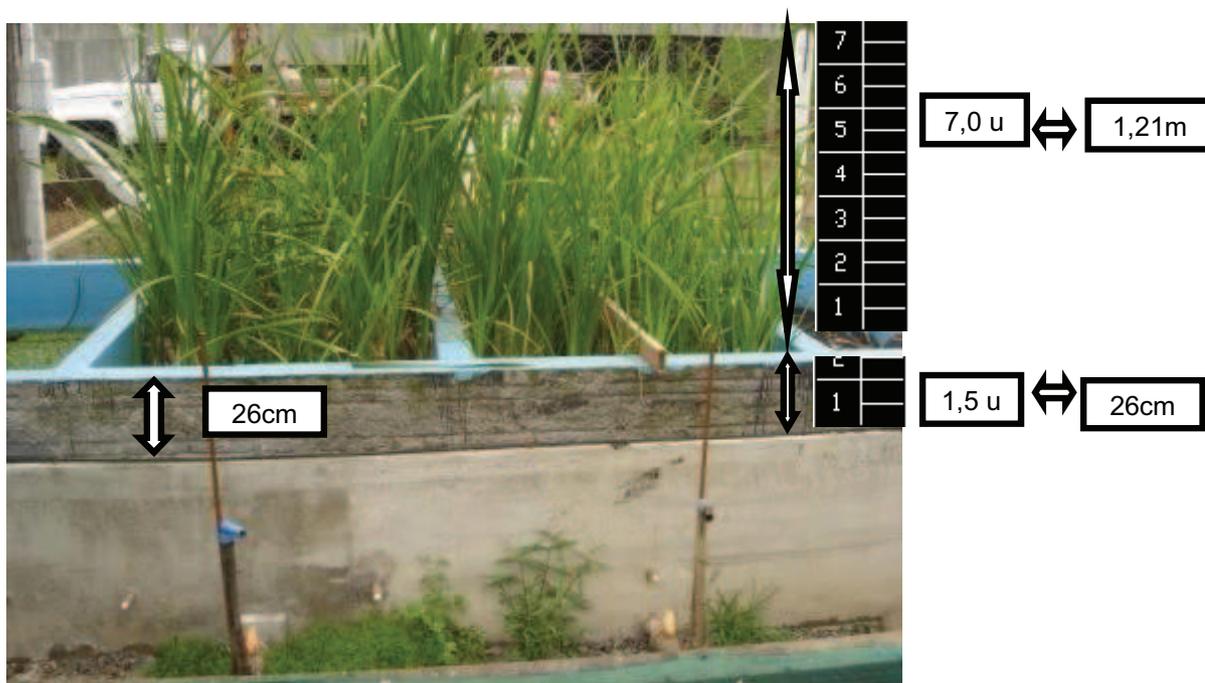


Figura 19: Método de análise do crescimento das mudas por comparação da régua.

5.3 Monitoramento do Processo de Tratamento

Foram realizados dois plantios para acompanhamento do processo de tratamento de lixiviado nos *wetlands*.

5.3.1 Primeiro Plantio

Posteriormente, com as plantas em melhores condições (a etapa anterior ocorreu justamente na estação de Inverno – temperatura ambiente entre 10,7 a 24,4 °C), o sistema passou a ser operado de forma contínua, com vazão de 13,9 L/h (0,432 m³/dia) para cada *wetland*.

No dia 12 de janeiro de 2009, iniciou-se a colocação de efluente consorciado: esgoto e lixiviado, nas proporções indicadas na Tabela 9. A concentração de lixiviado foi paulatinamente aumentada de modo a obter-se tratamento eficaz do efluente, sem prejudicar as plantas, seguindo inclusive a recomendação de Allen *et al.*, (1989) *apud* Fleck, (2003). Esses autores recomendam a adaptação das plantas no *wetland* antes da aplicação da água residuária a tratar e, posteriormente, a sua diluição crescente, favorecendo o processo de aclimação.

Tabela 9: Aumento gradativo da concentração de lixiviado em relação ao esgoto utilizado no primeiro plantio.

Período (2009)	Dias de monitoramento	Concentração de lixiviado no esgoto (%)
09/Fev a 22/Mar	41	8,0
23/Mar a 03/Mai	41	16,0
04/Mai a 31/Mai	27	64,0
01/Jun a 22/Jul	51	100,0

As amostras foram coletadas semanalmente. Após a coleta as amostras eram levadas para o Laboratório de Microbiologia de Resíduos e, todas elas, mesmo as que iriam ser utilizadas para análise imediata eram preservadas conforme (APHA, 1995). As amostras que não eram submetidas às análises no dia, após a preservação eram mantidas na geladeira. Todas as análises foram executadas em duplicatas.

Foi coletada uma amostra na entrada dos *wetlands* (mistura entre esgoto e lixiviado) no reservatório das misturas e na saída dos *wetlands* (WH, WH0 e WV). Amostras do lixiviado e do esgoto antes da mistura também foram monitoradas. A Tabela 10 mostra os métodos empregados nas análises.

Tabela 10: Métodos das análises.

Parâmetros	Método
Potencial Hidrogênio Iônico ¹	Potenciométrico
Nitrogênio Amoniacal ¹	Titulométrico
DQO ²	Refluxo fechado, colorimétrico
Fósforo ¹	Cloreto estanoso

(1) Fonte: APHA (1995)

(2) Fonte: APHA (1995), Modificação: Manual ISO 15705 MERCK.

5.3.2 Segundo Plantio

No dia 09/10/2009 iniciou-se o segundo plantio. Conforme se pode verificar na Tabela 11, o período monitorado é de 108 dias. Neste período, além dos parâmetros já citados na etapa anterior, foram acrescentados, DBO e Temperatura do ar e do efluente, cujos métodos estão relacionados na Tabela 12.

Tabela 11: Aumento gradativo da concentração de lixiviado em relação ao esgoto utilizado no segundo plantio.

Período (2009 e 2010)	Dias de monitoramento	Volume de lixiviado no esgoto (%)
22/Out a 04/Nov	13	8,0
05/Nov a 10/Dez	35	16,0
07/Jan a 27/Jan	20	64,0
28/Jan a 25/Fev	28	100,0

O primeiro plantio foi realizado no período de janeiro a julho, entre as estações verão, outono e inverno. Já o segundo plantio foi de outubro a fevereiro iniciando na primavera e finalizando no verão.

Tabela 12: Método das análises acrescentadas no segundo plantio.

Parâmetros	Método
Temperatura	Termométrico
DBO ¹	Processo de Winkler modificação da azida de sódio

(1) Fonte: APHA, 1995

Finalmente para atender o objetivo de eficiência ambiental das unidades, os resultados do monitoramento dos *wetlands* foram comparados à legislação ambiental que trata dos padrões de emissão de efluentes em corpos de água. No Rio Grande do Sul, a resolução CONSEMA 128/2006 é a que trata do assunto.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 Aclimação das plantas

Este período corresponde à aclimação de 4 meses primeiramente apenas com esgoto e após com esgoto consorciado com lixiviado nas proporções de 0,5% a 2%. O início do plantio coincidiu com baixas temperaturas, observando-se a perda de folhas e morte de algumas plantas.

Após o período de baixas temperaturas, aproximadamente no final do mês de setembro, as plantas começaram a recuperar-se com crescimento das folhas e aparecimento de brotos (Figura 20).



(26/maio/2008)

(06/ago/2008)

(29/set/2008)

Figura 20: Acompanhamento fotográfico nos primeiros 4 meses de aclimação

As *Typha* foram plantadas no mês de maio e até agosto não demonstraram um crescimento significativo, identificando uma possível dificuldade de adaptação das plantas no período de baixas temperaturas, já que este período aconteceu nas estações de outono e inverno.

Maehlum e Haarstad, (1997) pesquisando a influência de baixas temperaturas em *wetlands* indicaram ser possível o tratamento de lixiviado em *wetlands* em locais de climas frios.

Escosteguy *et al.* (2008), optaram pela aclimação das plantas com água até o surgimento dos brotos, quando então, foi adicionado 5% de lixiviado na água por um período de uma semana, e, após este período, lixiviado sem diluição. Eles não relatam em seu estudo se as plantas sofreram alguma alteração por essa mudança brusca de 5% para

100% de lixiviado. A aclimação das plantas no trabalho dos autores ocorreu entre os meses de agosto e março, período que sai da estação inverno e entra em estações de temperaturas predominantemente quentes por se tratarem da primavera e verão.

6.1.1 Resultados obtidos - Período de aclimação com 0,5% de lixiviado e 99,5% de esgoto.

No período com 0,5 % de lixiviado não houve remoção de nutrientes nos *wetlands*, haja vista a recente aclimação das plantas. A Tabela 13 apresenta os resultados do monitoramento no período.

Tabela 13: Resultados (valores mínimo e máximo) durante o período com 0,5% de lixiviado e 99,5% de esgoto.

Parâmetros	Entrada	Saídas		
	(mistura 0,5% lixiviado)	WH0	WH	WV
pH	6,2 / 7,3	7 / 7,9	6,7 / 7,1	6,7 / 7,4
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	15 / 27	21 / 22	28 / 29	28 / 31
Fósforo (mg/L)	1 / 5	3 / 4	4 / 7	4 / 10
DQO (mg/L)	14 / 46	7 / 49	43 / 50	41 / 63

Obs.: O *wetland* WV0 foi abandonado devido a vazamento constante em sua estrutura.

De acordo com os resultados do período de aclimação das plantas com 0,5% de lixiviado e 99,5% de esgoto listados na Tabela 12, verificou que o sistema esteve instável oscilando na remoção de todos os parâmetros monitorados.

O acompanhamento visual indicou folhas predominantemente verdes e crescimento das *Typha*. A Figura 21 exemplifica uma das fotos dos *wetlands* do dia 06/out/2008. A média dos resultados indica que no dia 06/out/2008 (0 dias após início do período com 0,5% de lixiviado) as plantas do WH e WV estavam com 72 ± 14 cm e 41 ± 13 cm respectivamente.

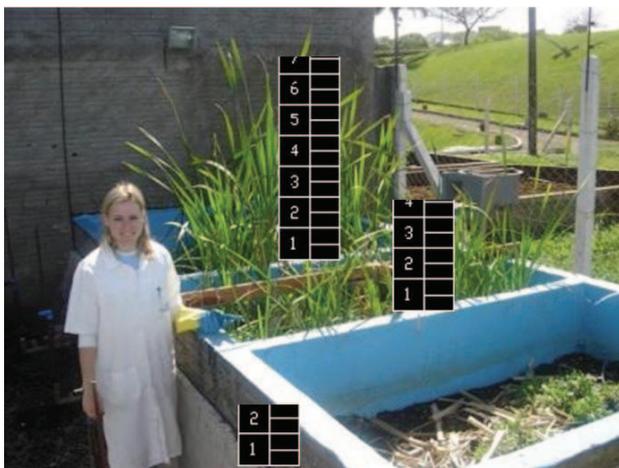


Figura 21: Aclimação com 0,5% de lixiviado – Fotografia 1 em 06/out/2008.

Após o período de 1 semana, a Figura 22 ilustra uma das fotos do dia 14/out/2008. Neste momento as plantas dos *wetlands* apresentaram 109 ± 7 cm e 86 ± 2 cm de altura para WH e WV respectivamente. Com relação ao dia 0 deste tratamento até o momento, as plantas apresentaram um crescimento para WH e WV de 37 cm e 45 cm respectivamente.

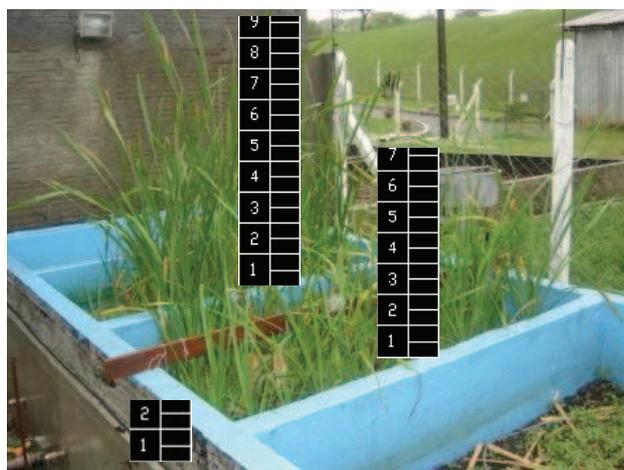


Figura 22: Aclimação com 0,5% de lixiviado – Fotografia 1 em 14/out/2008.

Vinte dias após, em 03/nov/2008, as plantas dos *wetlands* WH e WV apresentaram uma altura de 177 ± 30 cm e 120 ± 25 cm. O crescimento apresentado pelas plantas em relação ao dia 14/10/2008 foi de 68 cm e 34 cm respectivamente para WH e WV (Figura 23).

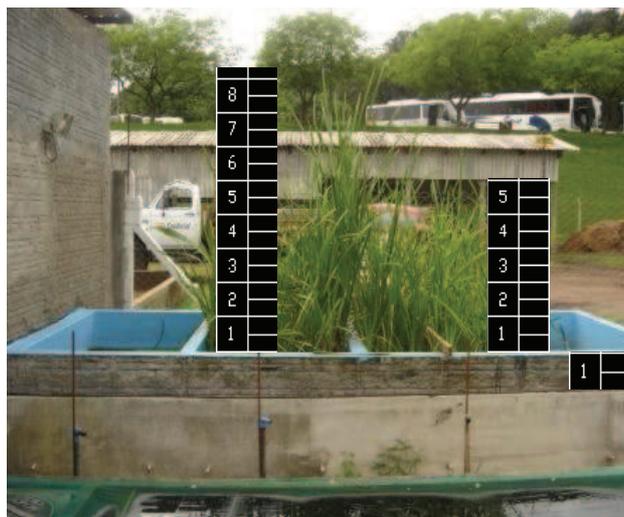


Figura 23: Aclimação com 0,5% de lixiviado – Fotografia 1 em 03/nov/2008.

Para o período com aplicação de 0,5% de lixiviado os *wetlands* horizontal e vertical tiveram crescimentos diferentes. O *wetland* de fluxo horizontal WH, partiu com plantas maiores ($72 \pm 14\text{cm}$). E ao final do período, WH e WV apresentaram crescimento de 105cm e 79cm respectivamente.

Em todo o período de aclimação com 0,5% de lixiviado e 99,5% de esgoto a coloração das folhas foi predominantemente verde, para ambos *wetlands*, indicando bom crescimento e aclimação das *Typha*.

6.1.2 Resultados obtidos - Período de aclimação com 1% de lixiviado e 99% de esgoto.

Na mistura de 1% de lixiviado, foi verificada situação similar a de 0,5% da etapa anterior, pois o sistema também oscilou com relação às remoções, mas, neste caso, já se pode observar alguma remoção em relação aos parâmetros monitorados conforme Tabela 14.

Tabela 14: Resultados (valores mínimo e máximo) durante o período com 1% de lixiviado.

Parâmetros	Entrada	Saídas		
	(mistura 1% lixiviado)	WH0	WH	WV
pH	7,4 / 7,7	7,1 / 7,2	6,6 / 6,9	6,6 / 6,7
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	15 / 50	18 / 33	18 / 34	22 / 32
Fósforo (mg/L)	4 / 28	3 / 6	2 / 5	4 / 7
DQO (mg/L)	786 / 1742	31 / 41	24 / 62	24 / 71

Neste período, já pode ser observada remoção de nutrientes, a saber: 34% de nitrogênio amoniacal e 74% em termos de fósforo como média entre os dois *wetlands* com plantas.

Após quatorze dias, em 17/nov/2008, as plantas dos *wetlands* WH e WV, já na aclimação de 1%, apresentaram altura de 192 ± 36 cm e 188 ± 41 cm. O crescimento apresentado desde o dia 03/11/08 foi de 15 e 67cm respectivamente para WH e WV (Figura 24).

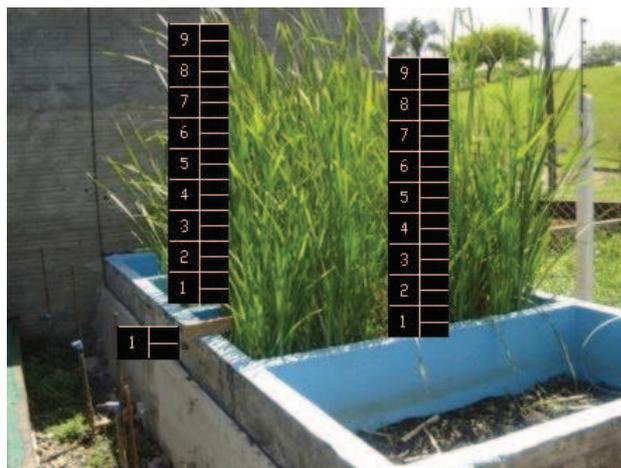


Figura 24: Aclimação com 1% de lixiviado – Fotografia em 17/nov/2008.

6.1.3 Resultados obtidos - Período de aclimação com 2% de lixiviado e 98% de esgoto.

Para a mistura de 2% verificou-se melhores respostas no WH, remoções de 31% em termos de nitrogênio amoniacal e 60% para o parâmetro fósforo. A Tabela 15 apresenta os parâmetros monitorados.

Tabela 15. Resultados (valores mínimo e máximo) durante o período com 2% de lixiviado.

Parâmetros	Entrada	Saídas		
	(mistura 2% lixiviado)	WH0	WH	WV
pH	7,3 / 7,5	6,8 / 7,0	6,3 / 6,6	6,3 / 6,6
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	10 / 57	8 / 31	7 / 29	11 / 33
Fósforo (mg/L)	2 / 4	1 / 5	1 / 2	2 / 4
DQO (mg/L)	60 / 105	12 / 74	58 / 87	78 / 114

No dia 01/dez/2008, foi realizada uma poda nas plantas deixando as mesmas com uma altura de aproximadamente 60 cm nos dois *wetlands*. Quinze dias após, em 15/dez/2008, as plantas dos *wetlands* WH e WV, já na aclimação de 2%, apresentaram altura de 136 ± 17 cm e 141 ± 25 cm. O crescimento respectivo para WH e WV do dia

01/dez/2008 a 15/dez/2008 foi de 76 e 81 cm (Figura 25). Na concentração de 2% de lixiviado no esgoto, duas podas foram realizadas, uma no dia 01 e a outra no dia 19 do mês de dezembro. Ao atingir seu patamar máximo de crescimento, estas plantas absorvem apenas a quantidade suficiente de nutrientes para sua manutenção. Por isso, as podas são necessárias, pois fazem com que se inicie um novo ciclo de crescimento na busca por uma quantidade maior de nutrientes. Após essas duas podas iniciais, durante os 4 meses subsequentes, não houve mais podas. Partindo da medida das plantas do dia 15/dez/2008 e desconsiderando esta poda, mesmo assim foi verificado crescimento das plantas. Após 24 dias contados a partir do dia 15/dez/2008, as plantas dos *wetlands* WH e WV, na aclimatação de 2%, apresentaram altura de 164 ± 23 cm e 183 ± 31 cm. O crescimento das plantas em relação ao dia 17/11/2008, foi de 28 e 42cm respectivamente para WH e WV.

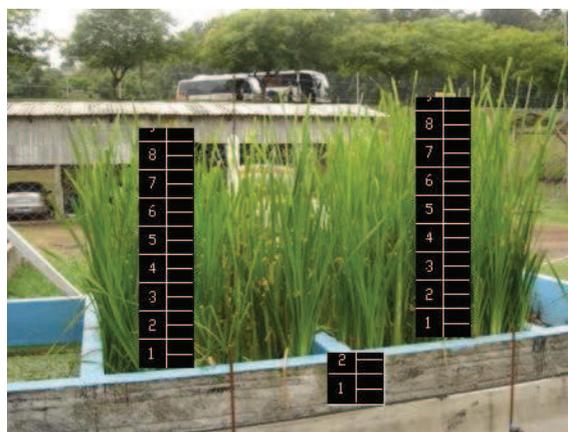


Figura 25: Aclimatação com 2% de lixiviado – Fotografia 1 em 15/dez/2008.

Em 19/dez/2008 foi retirado o solo do *wetland* WH0 (branco para esta pesquisa), de forma a eliminar-se, neste experimento o efeito da lixiviação dos nutrientes do solo. Igualmente aos períodos de aclimatação anteriores não houve surgimento de folhas da cor palha. A seguir a Figura 26 demonstra o estado das plantas em 08/01/2009.

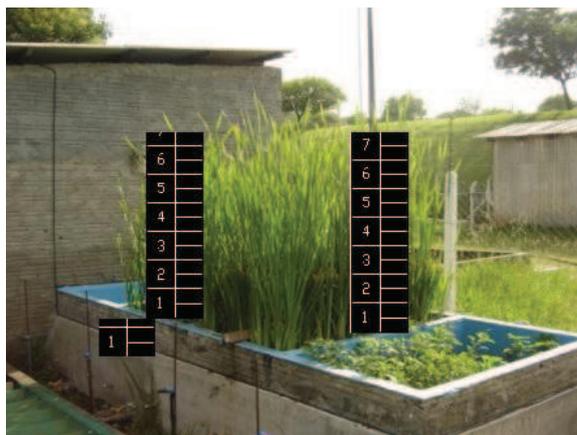


Figura 26: Aclimação com 2% de lixiviado – Fotografia 1 em 08/jan/2008.

As *Typha* demonstraram um bom condicionamento perante a exposição do efluente, não apresentando qualquer sintoma de deterioração através do acréscimo de lixiviado de Aterro Sanitário nas concentrações estudadas ao efluente depositado nos *wetlands*.

O acompanhamento do crescimento das plantas acrescido dos resultados de remoção de matéria orgânica carbonácea e nutrientes indicam que a etapa de aclimação foi concluída com sucesso em aproximadamente 100 dias e o aumento paulatino da porcentagem de lixiviado na mistura com esgoto (de 0,5% a 2%) foi adequado. O gráfico da Figura 27 demonstra o início da aclimação do WH em tamanho maior que WV no experimento. Ao final da aclimação verificou-se que WV ultrapassou WH ao final do período aparecendo ligeiramente maior.

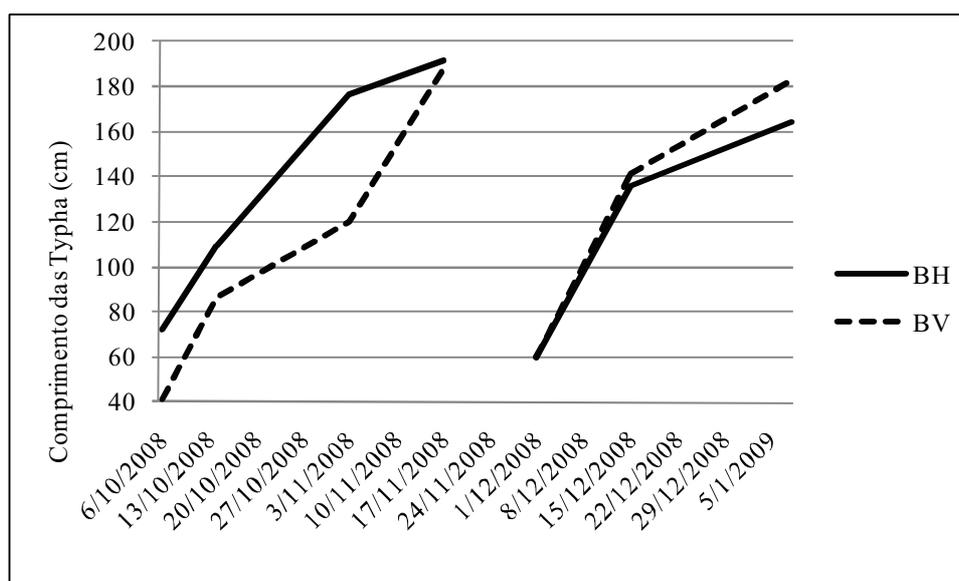


Figura 27: Crescimento das plantas no período de aclimação de 0,5% a 2% de lixiviado – De 06/out/2008 a 08/nov/2008. (poda em 01/dez/2008).

Os resultados médios para o crescimento das plantas no período do 1° a 8° dia na aclimação com 0,5% de lixiviado, as plantas demonstraram taxas de 4,6 e 5,6cm/dia para WH e WV respectivamente e do 8° ao 28° dia taxas médias de 3,4 e 1,7 cm/dia para WH e WV respectivamente. Do 1° ao 14° dia da aclimação com 1% de lixiviado, as taxas médias de crescimento apresentadas pelas plantas foram de 1,1 e 4,9 cm/dia para WH e WV respectivamente.

No dia 01/12/2008 quando realizada a poda, as plantas partiram com altura de aproximadamente 60 cm e no período do 1° ao 15° dia de aclimação com 2% de lixiviado, as taxas médias de crescimento foram 5,4 e 5,8cm/dia para WH e WV respectivamente e do 15° ao 39° dia, as taxas médias de crescimento registradas foram de 1,2cm/dia para WH e 1,8cm/dia para WV.

Os resultados demonstram taxas de crescimento maiores para as “arrancadas” das plantas, apresentados nos períodos do 1° ao 14° dia de aclimação com 0,5% de lixiviado e no período do 1° ao 15° dia com aclimação de 2% de lixiviado. Esse fato pode evidenciar que as maiores taxas de crescimento ocorrem quando as plantas estão menores e ao chegarem próximas do seu tamanho máximo crescem mais lentamente.

6.2 Tratamento do efluente

Esta etapa engloba os resultados do primeiro e segundo plantio e, assim como em Calijuri *et al.* (2009), os resultados desta pesquisa não permitiram análise detalhada da influência de cada variável, sendo assim, a discussão é feita com base na abordagem descritiva tentando relacionar e destacar, dentro do possível, os efeitos observados na pesquisa que mais nitidamente parecem ter influenciado no desempenho do sistema.

Não foram consideradas as alterações de volume de líquido por evaporação, evapotranspiração e precipitação, causadas pelas variáveis climáticas neste estudo.

As taxas de aplicação de efluente, a ser tratado, foram constantes em relação ao volume de líquido. Em contrapartida as de aplicação de cargas não puderam ser fixadas devido à variabilidade das características encontradas nos efluentes e também pela mistura proposital realizada entre esgoto e lixiviado.

Quanto ao parâmetro nitrogênio considerou-se apenas o nitrogênio amoniacal, sem levar em consideração mecanismos de nitrificação e desnitrificação.

6.2.2 Primeiro Plantio

O tratamento do efluente no primeiro plantio foi realizado de 09/02/2009 a 22/07/2009 com temperaturas que variaram de 5°C a 32°C (temperaturas fornecidas pelo Centro de Meteorologia Aplicada da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária - FEPAGRO/SCT com base na cidade de Cachoeirinha, 32km de São Leopoldo).

Com o objetivo de caracterizar as taxas e cargas médias de aplicação nos *wetlands*, foram realizadas coletas e análises semanais das misturas que foram tratadas. As caracterizações médias do período de cada mistura empregada no primeiro plantio estão documentadas na Tabela 16.

Tabela 16: Caracterização do efluente de entrada do primeiro plantio.

		Percentual de Lixiviado na mistura			
		8%	16%	64%	100%
Medidas	Vazão (L/h)	13,9	13,9	13,9	13,9
	Área superficial do <i>wetland</i> (m ²)	2	2	2	2
	Volume do <i>wetland</i> (m ³)	1,8	1,8	1,8	1,8
N. Amon.	Concentração média do período (mg/L)	41,6	65,2	296,2	458,7
	Carga média do período (mg/h)	578,5	905,9	4116,9	6375,9
	Taxa de aplicação superficial (mg/m ² .h)	289,3	452,9	2058,5	3188,0
	Taxa de aplicação volumétrica (mg/m ³ .h)	321,4	503,3	2287,2	3542,2
DQO	Concentração média do período (mg/L)	262,0	570,3	1150,5	2434,3
	Carga média do período (mg/h)	3641,8	7927,2	15992,0	33836,8
	Taxa de aplicação superficial (mg/m ² .h)	1820,9	3963,6	7996,0	16918,4
	Taxa de aplicação volumétrica (mg/m ³ .h)	2023,2	4404,0	8884,4	18798,2
Fósforo	Concentração média do período (mg/L)	3,6	8,4	16,1	16,0
	Carga média do período (mg/h)	50,0	116,5	223,9	221,8
	Taxa de aplicação superficial (mg/m ² .h)	25,0	58,2	112,0	110,9
	Taxa de aplicação volumétrica (mg/m ³ .h)	27,8	64,7	124,4	123,3

De acordo com a Tabela 16, verificou-se que ao aumentar o percentual de lixiviado no esgoto, houve um aumento direto nas taxas e cargas de aplicação, demonstrando uma introdução de nutrientes e matéria orgânica carbonácea dependente do lixiviado no sistema. Esse fato deixa claro a alta contribuição de compostos poluidores presentes no lixiviado, já que as cargas e taxas de aplicação de nitrogênio amoniacal, DQO e fósforo neste estudo foram crescendo gradativamente conforme se foi aumentando o percentual de lixiviado no esgoto.

Os estudos encontrados demonstram taxas de aplicação sensivelmente inferiores nos *wetlands* construídos quando se trata apenas esgoto (SOUSA *et al.*, 2004; TONIATO *et al.*, 2005; SEZERINO *et al.*, 2005; BRASIL *et al.*, 2007; ALMEIDA *et al.*, 2007; CALIJURI *et al.*, 2008, 2009).

6.2.2.1 Primeiro Plantio com 8% de lixiviado e 92% de esgoto

Este período compreende o tratamento do efluente com 8% de lixiviado e 92% de esgoto do primeiro plantio executado de 09/Fev a 22/Mar de 2009, 41 dias no verão. As Figuras 28, 29 e 30 apresentam as médias de entrada e saída do período em relação aos parâmetros DQO, nitrogênio amoniacal e fósforo. As temperaturas do período variaram de 23,3°C a 32°C.

Com relação ao parâmetro DQO, as remoções apresentadas foram de 196,6mg/L, 169,9mg/L e 159,2mg/L para WH0, WH e WV respectivamente, conforme Figura 28. Estes, representando remoções de 75,1%, 64,9% e 60,8% para WH0, WH e WV. Neste caso, as maiores remoções de DQO ocorreram no *wetland* sem as plantas.

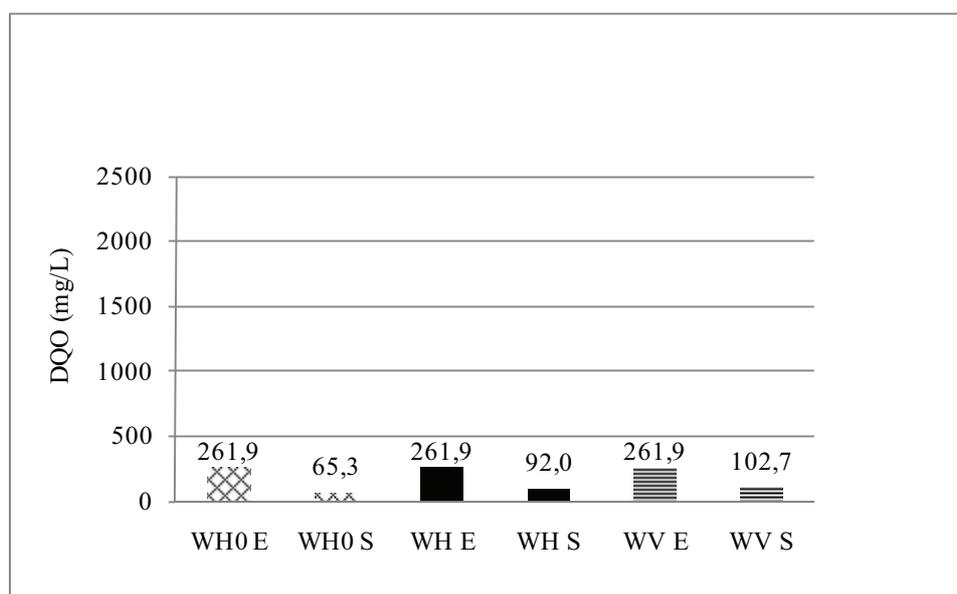


Figura 28: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=5).

Conforme pode ser visto na Figura 29, neste período, verificou-se que todas as saídas obtiveram resultados de nitrogênio amoniacal com valores médios inferiores a 58,8 mg/L que foi a média de entrada. A remoção média em cada um dos *wetlands* foi de 23,6mg/L, 33,1mg/L e 26,0 mg/L para os *wetlands* WH0 (*wetland* sem *Typha*), WH e

WV, respectivamente, valores que correspondem a remoções médias de 40,1%, 56,4% e 44,2%. Os resultados indicam o fluxo horizontal com maior eficiência nas remoções de nitrogênio amoniacal para este período. A forma de distribuição do efluente a tratar no *wetland* de fluxo vertical pode não estar sendo efetiva.

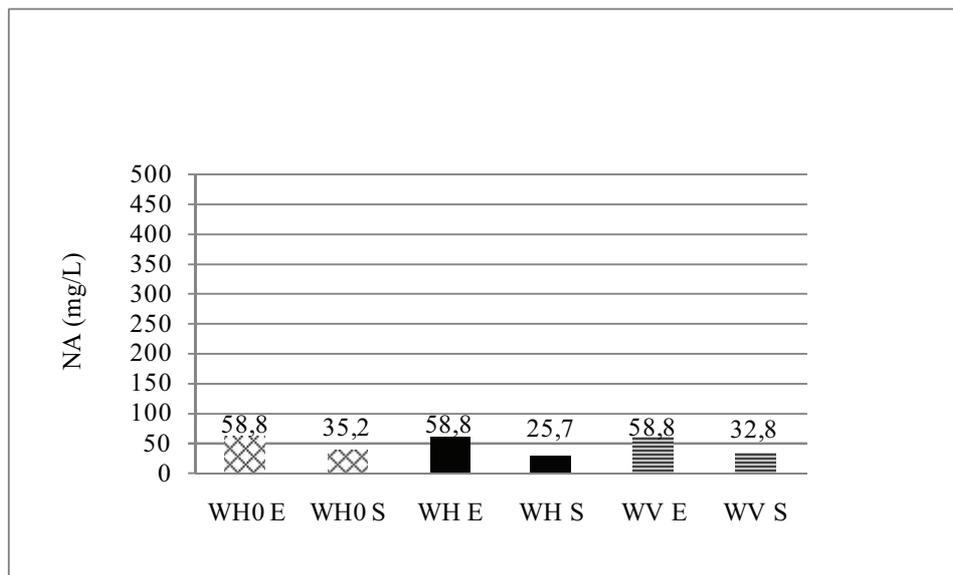


Figura 29: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto - Primeiro plantio (n=5).

As remoções de fósforo apresentadas na mistura de 8% de lixiviado foram de 2,2mg/L, 2,4mg/L e 2,0mg/L para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 30). As remoções médias apresentadas pelos sistemas foram 61,4%, 67,2% e 55,1% para WH0, WH e WV respectivamente, demonstrando maior remoção média de fósforo para o *wetland* horizontal com plantas (WH).

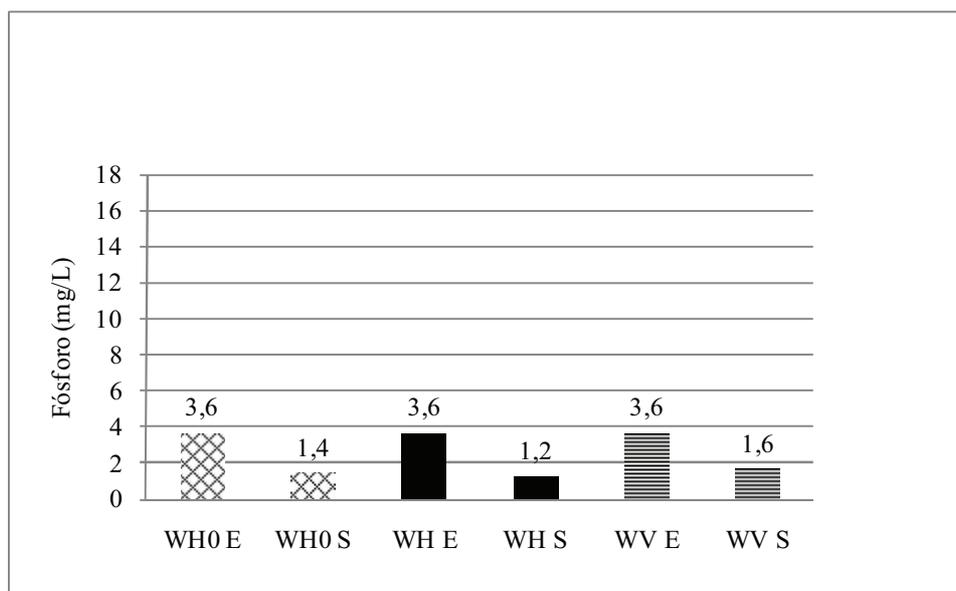


Figura 30: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=5).

6.2.2.2 Primeiro Plantio com 16% de lixiviado e 84% de esgoto

Esta fase compreende um período de 41 dias de 23/mar a 03/mai de 2009 no outono. O período apresentou oscilações de temperatura que foram de 19,1°C a 27,9°C. As Figuras 31, 32 e 33 ilustram as médias de entrada e saída do período em cada *wetland* para DQO, nitrogênio amoniacal e fósforo, respectivamente.

As remoções de DQO foram de 376,5mg/L, 343,4mg/L e 320,5mg/L de acordo com a Figura 32, que em percentual representam 66,0%, 60,2% e 56,2% para WH0, WH e WV respectivamente. Neste caso, verificou-se que o WH0 demonstrou melhor eficiência na remoção de DQO que os *wetlands* sem plantas, assim como verificado anteriormente na mistura de 8%.

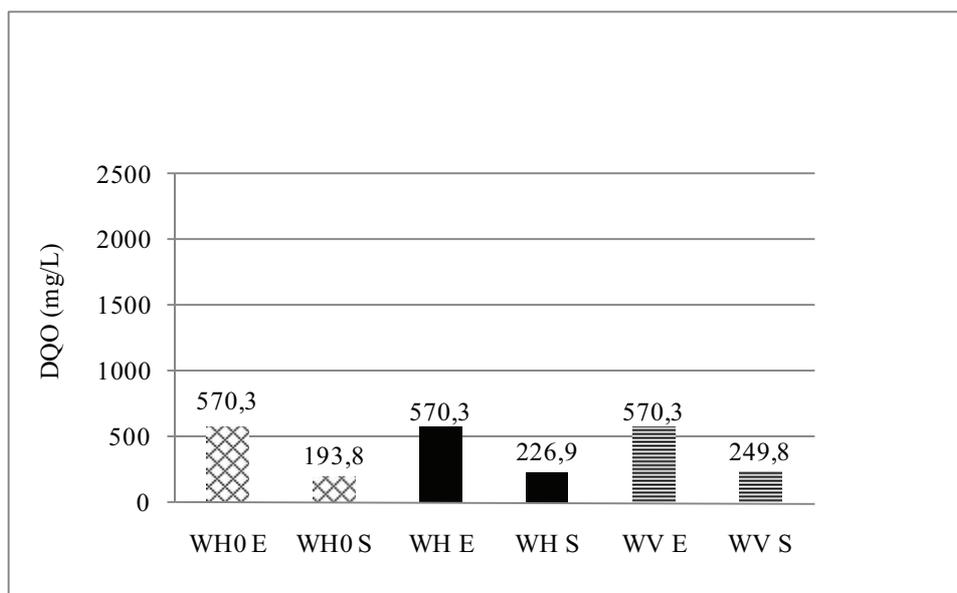


Figura 31: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=6).

Neste período, todos os *wetlands* apresentaram saídas médias inferiores às médias de entrada, igualmente ao período com 8% de lixiviado. Os resultados de remoção média para WH0, WH e WV, foram de 25,3mg/L, 29,9mg/L e 29,3mg/L respectivamente (Figura 32). Percentualmente os *wetlands* WH0, WH e WV apresentaram remoções médias de 38,9%, 45,9% e 45,0% respectivamente. Ambos os períodos, 8% e 16% de lixiviado, inferem uma possível melhora na remoção de nitrogênio amoniacal nos *wetlands* com plantas, WH e WV, em comparação com a unidade sem plantas.

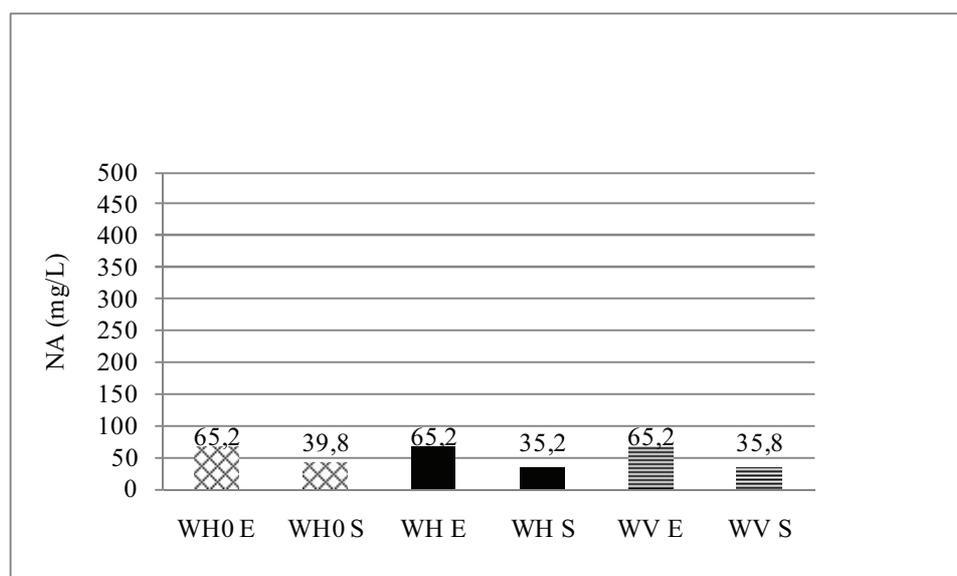


Figura 32: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=6).

Com relação ao parâmetro fósforo, pode-se verificar Figura 33, que as remoções médias apresentadas foram de 3,0mg/L, 3,5mg/L e 2,7mg/L para WH0, WH e WV respectivamente. Melhor remoção apresentada no WH com 41,2% seguido de WH0 com 36,2% e WV com 32,0%.

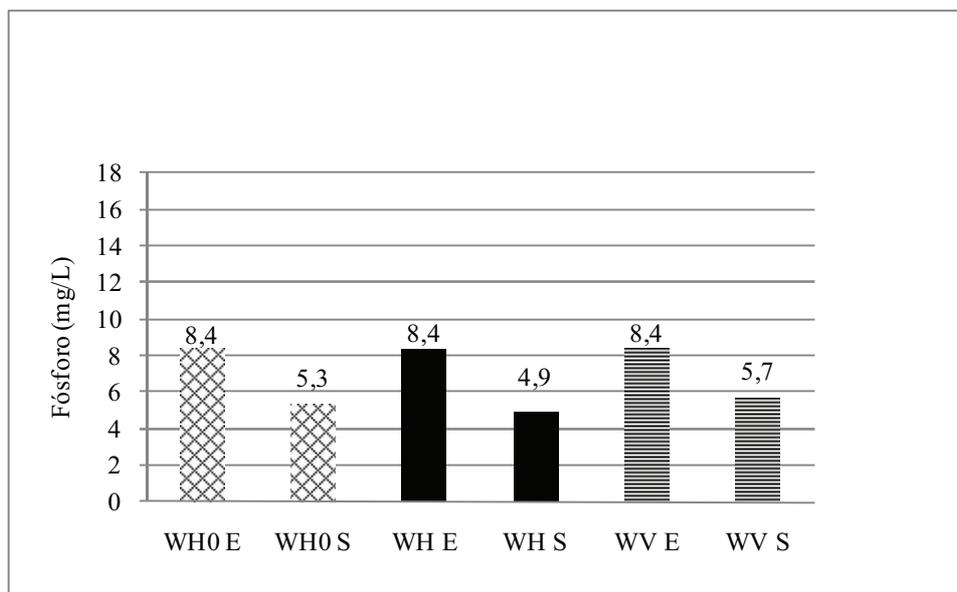


Figura 33: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=6).

6.2.2.3 Primeiro Plantio com 64% de lixiviado e 36% de esgoto

O período de monitoramento do tratamento do efluente com mistura de 64% de lixiviado e 36% de esgoto foi um pouco menor que os anteriores, foram monitorados 27 dias, de 04 a 31/Mai de 2009 no outono. As temperaturas do período oscilaram entre 12,7°C a 22,5°C. As Figuras 34, 35 e 36 compreendem as médias de entrada e saída do período em cada *wetland* em relação à DQO, nitrogênio amoniacal e fósforo.

As remoções médias de DQO neste período também foram ligeiramente superiores no *wetland* sem as plantas, sendo elas 859,5mg/L, 795,9mg/L e 746,4mg/L, com percentuais de 55,4%, 51,3% e 48,1% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 34).

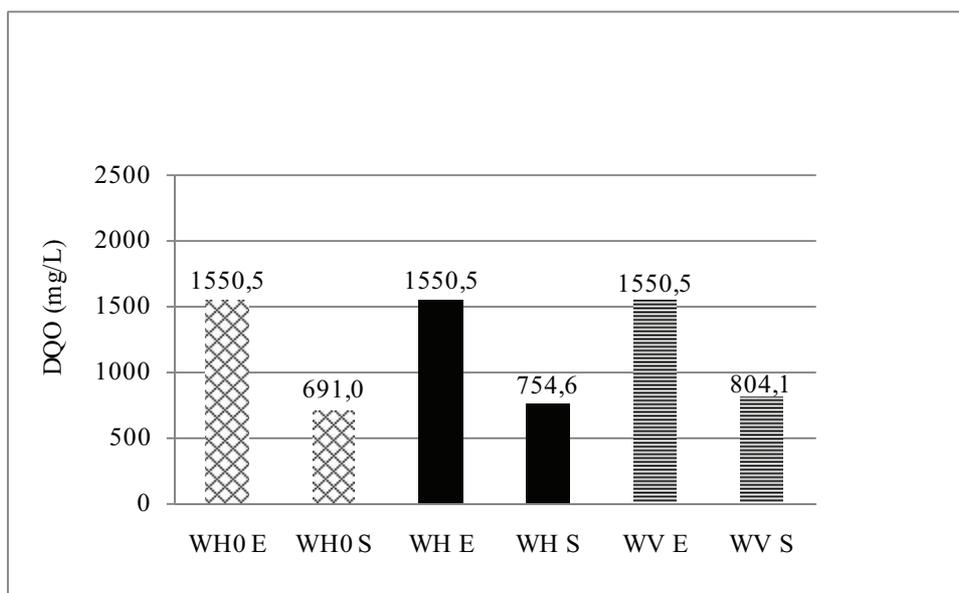


Figura 34: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=4).

Nesse período, também houve uma remoção de nitrogênio amoniacal demonstrando resultados médios de saída inferiores aos de entrada. Os resultados médios de remoção apresentados no período são de 153,2mg/L, 126,4mg/L e 128,5mg/L para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 35).

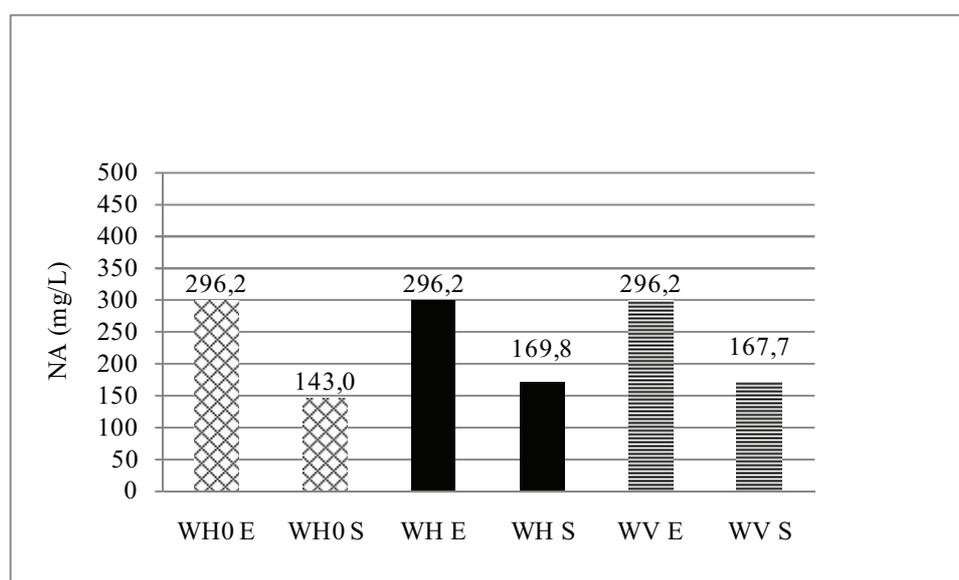


Figura 35: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=4).

Em percentual foram obtidas remoções médias de nitrogênio amoniacal de 51,7%, 42,7% e 43,4% para WH0, WH e WV respectivamente. Neste período o *wetland* sem plantas, WH0, demonstrou pequena diferença superior em relação aos *wetlands* com

plantas WH e WV. Este fato pode estar relacionado a um período pequeno de monitoramento em que as plantas ainda estavam aclimatando-se com esta concentração maior de lixiviado já que a diferença entre 16% e 64% corresponde a um aumento de 300%.

As melhores remoções de fósforo na mistura de 64% foram encontradas nos *wetlands* com plantas, WH e WV. As remoções encontradas foram de 2,5mg/L, 6,6mg/L e 6,9mg/L o que correspondem a 15,0%, 39,5% e 41,4% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 36).

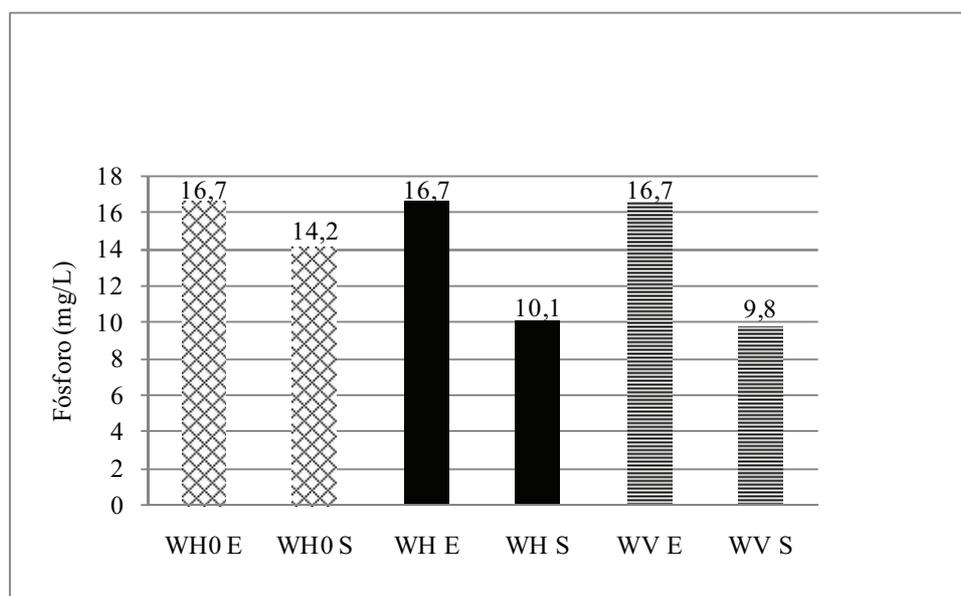


Figura 36: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Primeiro plantio (n=4).

6.2.2.4 Primeiro Plantio com 100% de lixiviado

Esta fase correspondeu ao mais longo período de monitoramento no primeiro plantio. Foram 51 dias de 01/Jun a 22/Jul de 2009, parte deste experimento ocorreu no outono (20 dias) e o restante no inverno. As temperaturas referentes ao mês de junho variaram de 9,6°C a 20,8°C, os dados de temperatura do mês de julho não foram registrados pela FEPAGRO. Os resultados de remoção de DQO, nitrogênio amoniacal e fósforo do período estão relacionados nas Figuras, 37, 38 e 39.

As remoções de DQO no período foram 498,8mg/L, 627,8mg/L e 442,1mg/L, representando 20,5%, 25,8% e 18,2% para WH0, WH e WV respectivamente. Igualmente ao parâmetro nitrogênio amoniacal, foi verificado um decaimento nas remoções, se

comparado aos outros períodos com percentuais menores de lixiviado no efluente. O WH demonstrou superiores resultados de remoção também para a DQO (Figura 37).

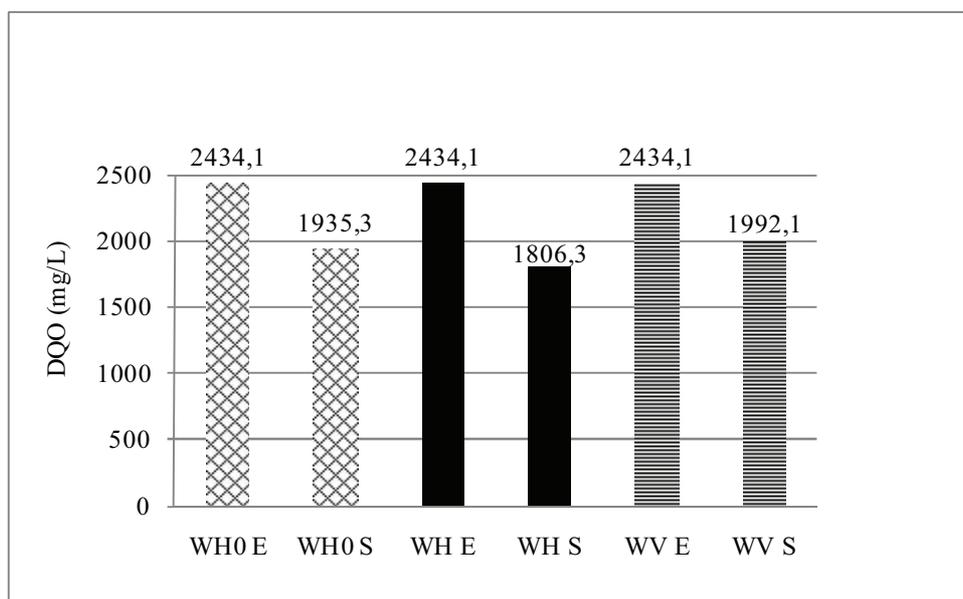


Figura 37: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Primeiro plantio (n=8).

As remoções médias apresentadas foram de 51,8mg/L, 62,5mg/L e 59,8mg/L e em percentual 11,1%, 13,4% e 12,9% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 38).

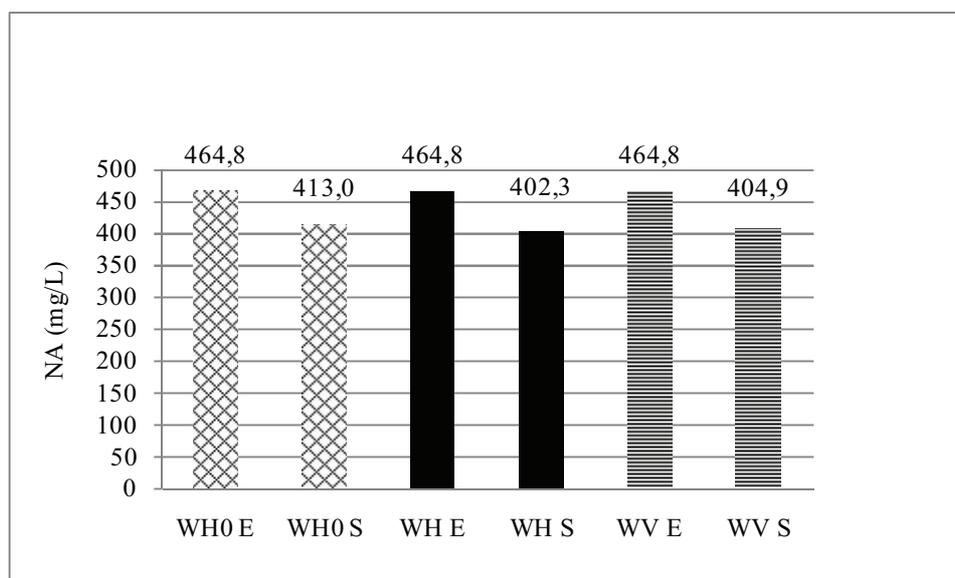


Figura 38: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Primeiro plantio (n=8).

Foi verificado um decaimento na remoção de nitrogênio amoniacal no período se comparado a todas as outras misturas de efluente tratadas, esse fato era esperado já que pode existir um limite de carga nitrogenada para as plantas. Mesmo assim, os *wetlands* com plantas demonstraram remoções superiores, com destaque novamente para o WH.

Também foi verificado, igualmente aos parâmetros anteriores, quedas de remoção em relação ao fósforo. As remoções apresentadas foram de 2,4mg/L, 2,5mg/L e 2,6mg/L, o que corresponderam a 15,0%, 15,4% e 16,1% para WH0, WH e WV respectivamente. Embora muito próxima em relação aos demais *wetlands*, a maior remoção foi apresentada por WV (Figura 39).

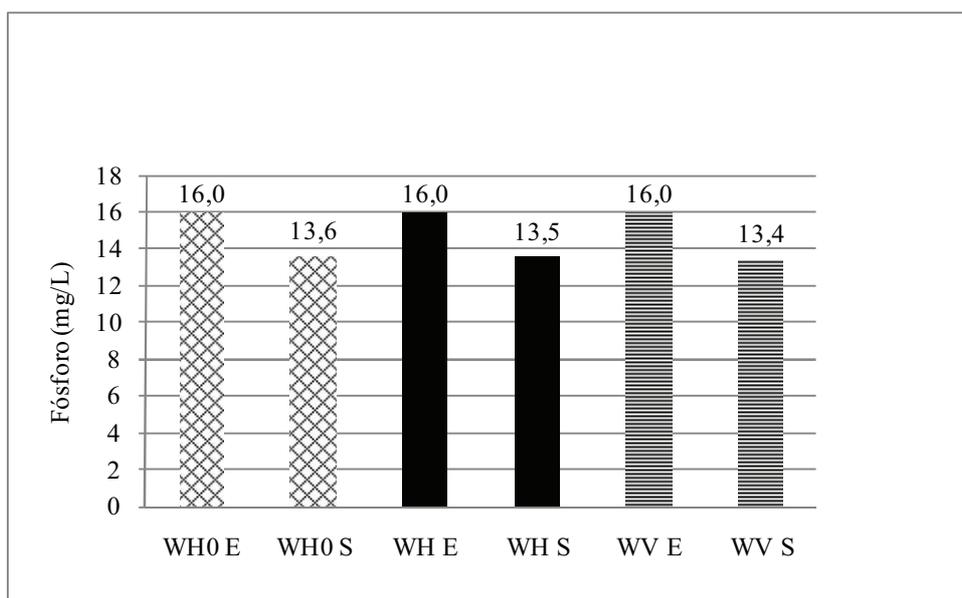


Figura 39: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Primeiro plantio (n=8).

Pode-se talvez inferir neste momento que: efluentes com cargas e taxas de aplicação superiores aos da mistura de 64%, indicados na Tabela 15, sejam impróprios para serem tratados em *wetlands* devido ao decaimento verificado nas baixas remoções pelo sistema.

6.2.2.5 Considerações finais – Primeiro plantio

Com relação ao monitoramento de todo o período do primeiro plantio, 187 dias, de 09/Fev de 2009 a 22/Jul de 2009, passando pelas estações do verão, outono e inverno, os resultados de cada *wetland* podem ser observados a partir das Figuras 40 a 48.

Para a DQO foram encontradas remoções médias de 75,1%, 66,0%, 55,4% e 20,5%, respectivamente para as concentrações de lixiviado na mistura de 8%, 16%, 64% e 100% conforme Figura 40.

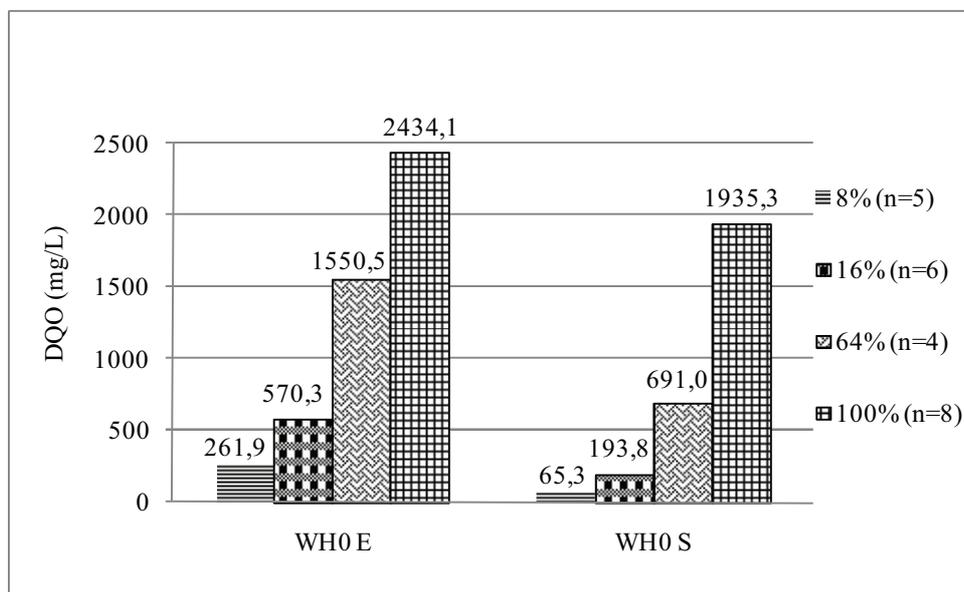


Figura 40: Médias de entrada e saída de DQO do *wetland* horizontal sem plantas (WH0) – Primeiro plantio.

Os resultados médios de remoção obtidos para o nitrogênio amoniacal foram de 40,1%, 38,9%, 51,7% e 11,1% para as concentrações de 8%, 16%, 64% e 100%, respectivamente (Figura 41).

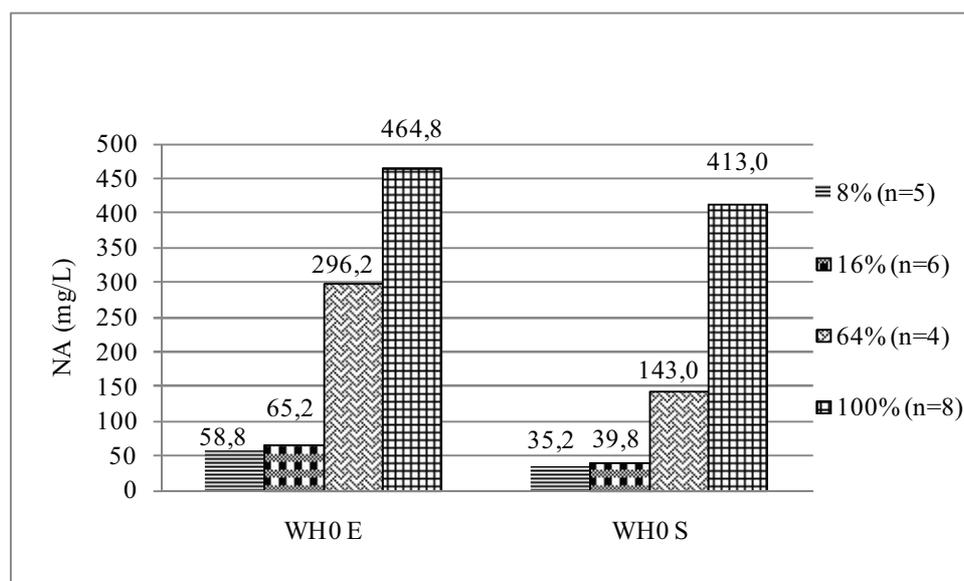


Figura 41: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do *wetland* horizontal sem plantas (WH0) – Primeiro plantio.

Com relação ao parâmetro fósforo, a maior remoção encontrada no WH0, foi na mistura de 8% de lixiviado. As remoções médias encontradas para o WH0 foram de 2,2mg/L, 3,0mg/L, 2,5mg/L e 2,4mg/L (Figura 42), o que percentualmente correspondem a 61,4%, 36,2%, 15% e 15% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% respectivamente.

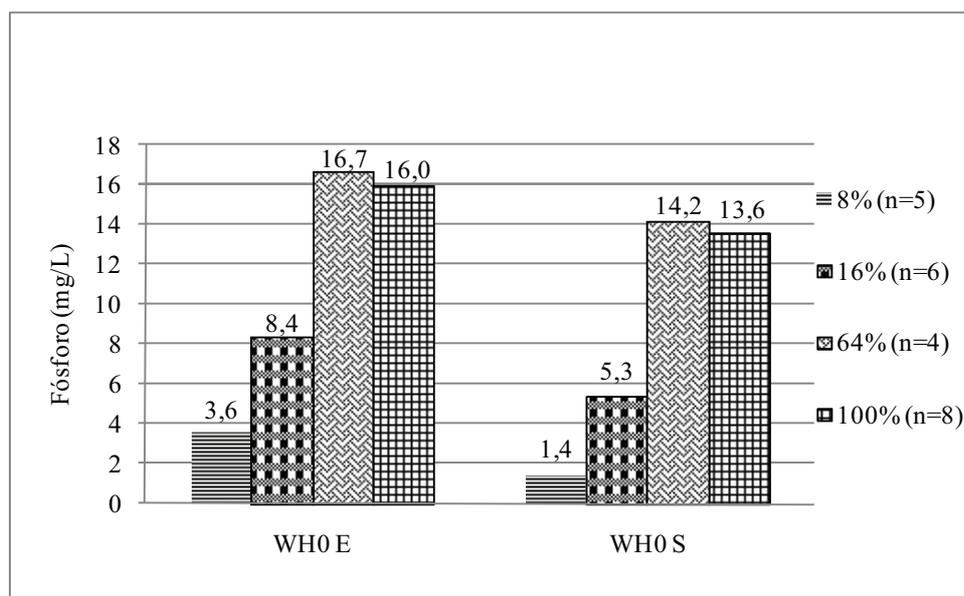


Figura 42: Médias de entrada e saída de fósforo do *wetland* horizontal sem plantas (WH0) – Primeiro plantio.

Foram encontradas remoções médias para a DQO de 64,9%, 60,2%, 51,3% e 25,8% conforme Figura 43. Sendo que a melhor remoção de DQO igualmente ao *wetland* sem plantas foi na mistura de 8% de lixiviado.

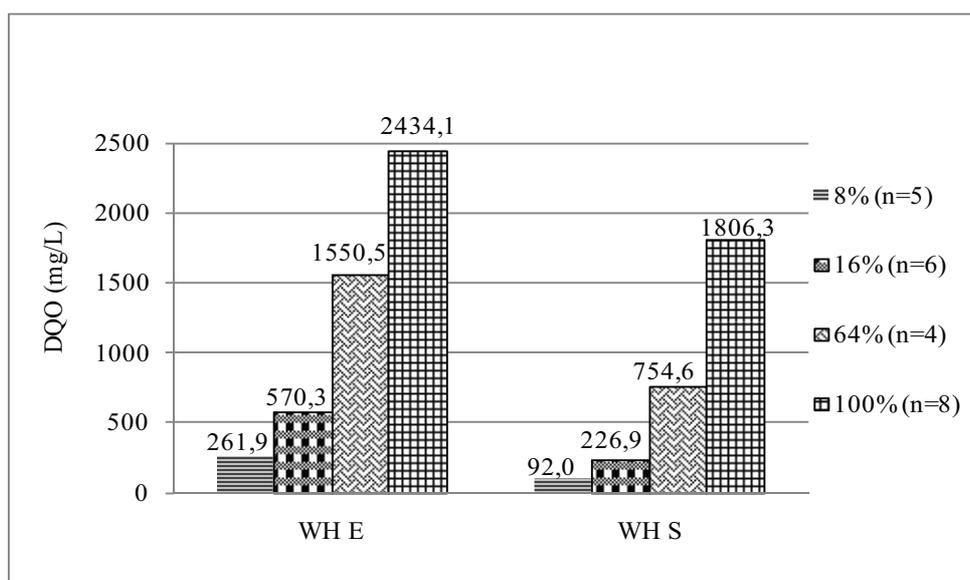


Figura 43: Médias de entrada e saída de DQO do *wetland* horizontal com plantas (WH) – Primeiro plantio.

No *wetland* de fluxo horizontal com plantas, foram observadas remoções de 56,4%, 45,9%, 42,7% e 13,4% de nitrogênio amoniacal para as concentrações de 8%, 16%, 64% e 100%. Estes resultados se comparados ao *wetland* sem plantas (Figura 44) sugerem que talvez as plantas não tenham demonstrado importância no tratamento do efluente.

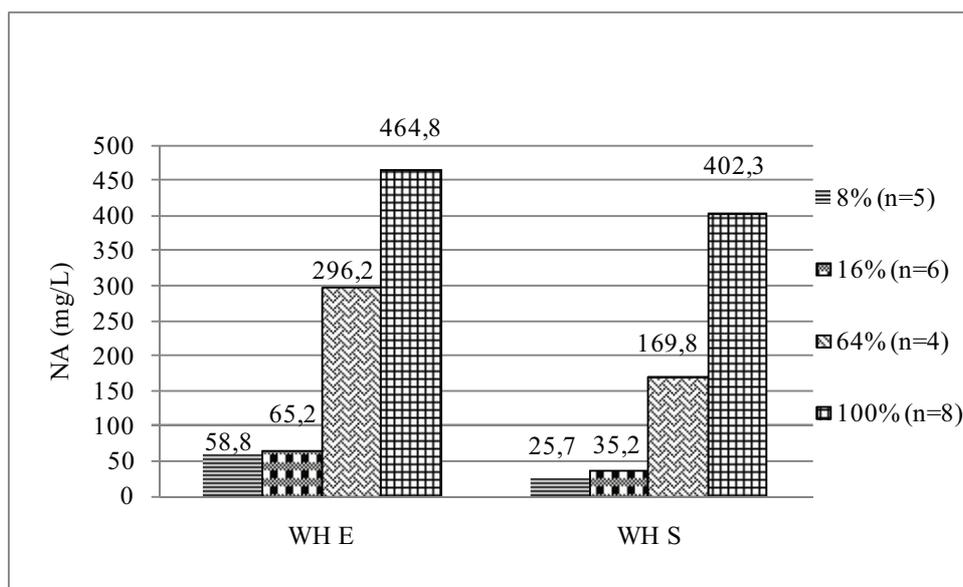


Figura 44: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do *wetland* horizontal (WH) – Primeiro plantio.

O *wetland* horizontal com plantas apresentou remoções de fósforo de 2,4mg/L, 3,5mg/L, 6,6mg/L e 2,5mg/L, correspondendo a 67,2%, 41,2%, 39,5% e 15,4% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100%. A maior remoção de fósforo apresentada pelo WH ocorreu na mistura de 8% (Figura 45).

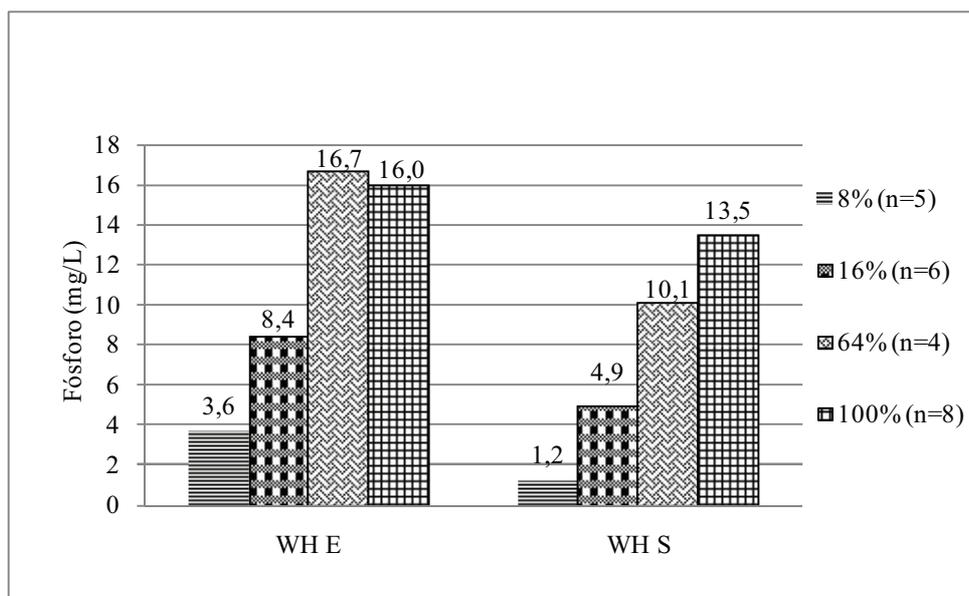


Figura 45: Médias de entrada e saída de fósforo do *wetland* horizontal com plantas (WH) – Primeiro plantio.

Os resultados de remoção de DQO foram os seguintes: 60,8%, 56,2%, 48,1% e 18,2% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% respectivamente, indicando melhores remoções para a mistura com 8% de lixiviado (Figura 46).

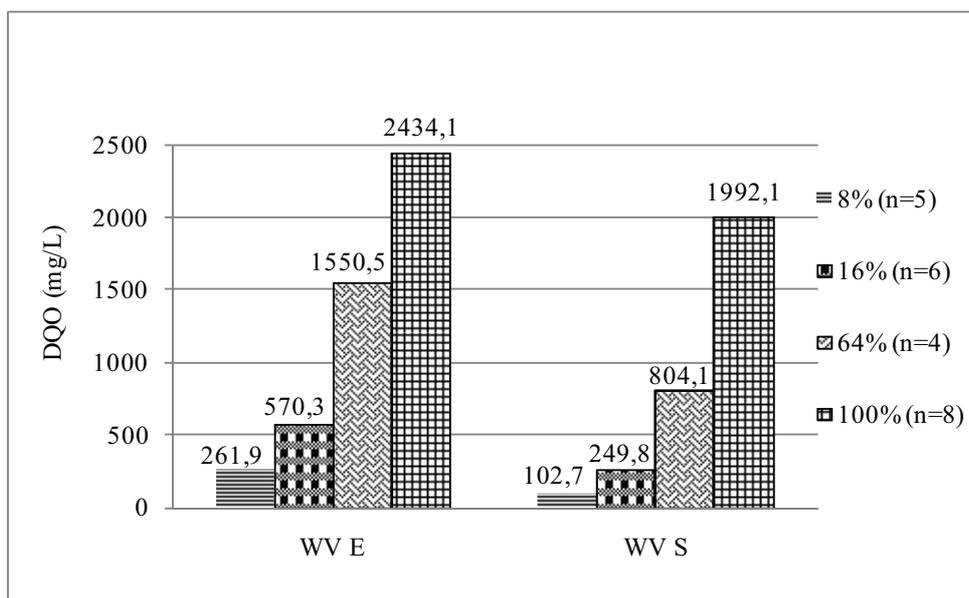


Figura 46: Médias de entrada e saída de DQO do *wetland* vertical com plantas (WV) – Primeiro plantio.

Para o *wetland* de fluxo vertical com plantas, foram observadas remoções de nitrogênio amoniacal praticamente iguais entre as misturas de 8%, 16% e 64% que foram 44,2%, 45,0% e 43,4% respectivamente (Figura 47).

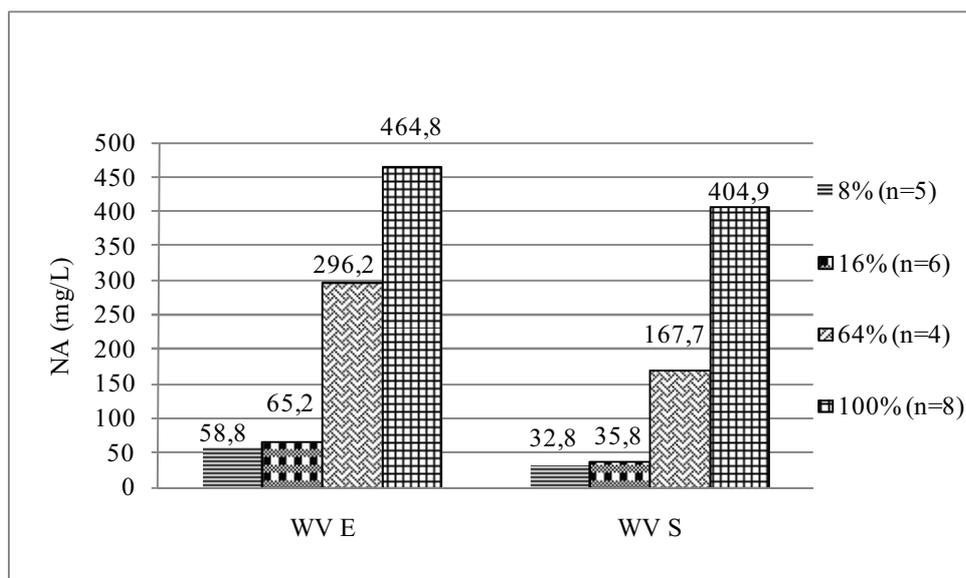


Figura 47: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do *wetland* vertical (WV) – Primeiro plantio.

No período com 100% de lixiviado o mesmo demonstrou comportamento diferente em relação às misturas anteriores conforme já mencionado houve um decaimento apresentando apenas 12,9% de remoção.

As remoções de fósforo apresentadas pelo WV foram 2,0mg/L, 2,7mg/L, 6,9mg/L e 2,6mg/L (Figura 48) com percentuais de 55,1%, 32%, 41,4% e 16,1% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% de lixiviado. O *wetland* vertical apresentou remoções superiores aos demais nas misturas de 64% e 100%.

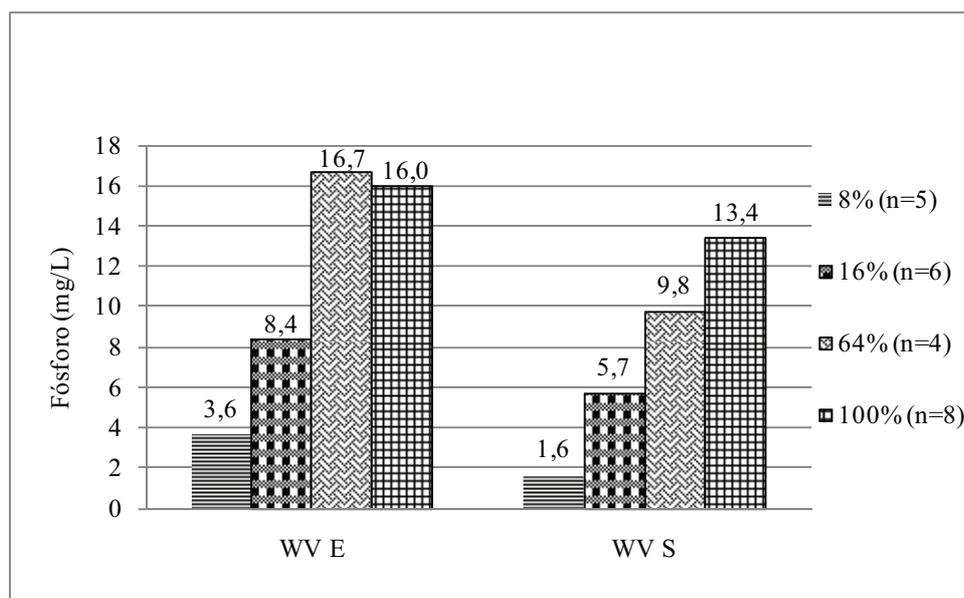


Figura 48: Médias de entrada e saída de fósforo do *wetland* vertical com plantas (WV) – Primeiro plantio.

A análise estatística do primeiro plantio foi feita de modo a verificar alguma diferença significativa que pudesse dizer qual dos *wetlands* (com e sem plantas) e qual dos fluxos de alimentação (horizontal e vertical) foi mais eficiente na remoção de matéria orgânica carbonácea, nitrogênio amoniacal e fósforo. Foram testadas duas hipóteses com o teste estatístico qui-quadrado. A primeira tentando verificar se os *wetlands* com plantas diferiam dos sem plantas e a segunda para verificar diferença significativa entre os fluxos, horizontal e vertical de alimentação, ambas as hipóteses testando os *wetlands* em termos de eficiência de remoção dos parâmetros já citados anteriormente. A análise estatística não demonstrou diferença significativa em nenhuma das duas hipóteses, com isso, foi feita uma análise comparativa qualitativa de modo a se observar alguma informação de comparação entre os *wetlands*. A Tabela 17 apresenta os eventos em que foram encontradas maiores remoções médias, em cada um dos *wetlands*, divididos por parâmetros e faixas de diluição de lixiviado.

Analisando de forma sintética o primeiro plantio, em relação à DQO, foram verificados melhores resultados no WH0 para as misturas de 8%, 16% e 64% que apresentaram remoções médias de 75,1%, 66% e 55,4% respectivamente e para o efluente com 100% de lixiviado a maior eficiência foi encontrada no WH com 25,8%. A maior remoção para a DQO ocorreu no WH0 na diluição de 8% de lixiviado (75,1%).

O nitrogênio amoniacal apresentou remoções médias melhores para o *wetland* horizontal com plantas nas misturas de 8%, 16% e 100% que foram 56,3%, 45,9%, 13,4% respectivamente. Para a mistura de 64%, o melhor resultado foi encontrado no *wetland* horizontal sem plantas (51,7%). Foi observado também que a menor remoção em todos os *wetlands* ocorreu quando o sistema recebeu 100% de lixiviado. A maior remoção para o nitrogênio amoniacal ocorreu no WH, na diluição de 8% de lixiviado no esgoto (56,4%).

As maiores remoções médias de fósforo foram apresentadas pelos *wetlands* com plantas, nas misturas de 8% e 16% para WH (67,2% e 41,2%) e nas misturas de 64% e 100% para WV (41,4% e 16,2%). O WH0 demonstrou resultados médios inferiores aos demais *wetlands* em relação às remoções de fósforo o que era esperado já que as plantas utilizam-se de fósforo para suas inflorescências. Para o fósforo, a maior remoção foi encontrada no WH também na mistura de 8% de lixiviado no esgoto, embora não conclusivas com WH0 logo em seguida e WV por último.

Tabela 17: Síntese dos resultados de remoções médias dos *wetlands* no primeiro plantio.

Parâmetros	Misturas (%)	WH0 (%)	WH (%)	WV (%)
DQO	8	75,1	64,9	60,8
	16	66,0	60,2	56,2
	64	55,4	51,3	48,1
	100	20,5	25,8	18,2
NA	8	40,1	56,4	44,2
	16	38,9	46,0	45,0
	64	51,7	42,7	43,4
	100	11,1	13,4	12,9
Fósforo	8	61,4	67,2	55,1
	16	36,2	41,2	32,0
	64	15,0	39,5	41,4
	100	15,0	15,4	16,2

xx – melhor resultado para o parâmetro

xx – melhor resultado entre *wetlands* por diluição de lixiviado

De acordo com a síntese apresentada na Tabela 17, foi verificado que o *wetland* horizontal com plantas foi o que apresentou a maior quantidade de eventos com maiores remoções médias, seis deles, seguido do WH0 com quatro e WV com dois dos doze eventos (negrito).

O pH de saída do efluente ficou inferior ao da entrada, com tendência aos *wetlands* com plantas apresentarem pH mais baixos que o sem plantas durante o primeiro plantio. No monitoramento do pH, que consta no apêndice IV, foi verificado que com o incremento de lixiviado no esgoto, a mistura a ser tratada demonstrou um aumento de pH tornando-se mais básico. No período com 100% de lixiviado, o pH manteve-se básico e praticamente igual entre entrada e saída, sem modificações significativas.

Os *wetlands* com plantas responderam melhor para o objetivo de remoção de nutrientes indicando que as mesmas foram importantes nesse tratamento. Para a remoção de matéria orgânica carbonácea os *wetlands* funcionaram como filtros, indicando que mesmo sem as plantas pode-se observar maiores remoções de DQO no WH0.

6.2.3 Segundo Plantio

O segundo plantio foi realizado de 22/10/2009 a 25/02/2010 com temperaturas que variaram de 21 a 32° C (temperatura medida às 10h da manhã no local do experimento), com variação máxima de 11°C no período.

A Tabela 18 caracteriza as taxas e cargas de aplicação dos *wetlands* no segundo plantio. Igualmente ao primeiro plantio foi verificado que a principal fonte de carga no efluente se deve ao acréscimo de lixiviado.

Tabela 18: Caracterização do efluente de entrada do segundo plantio.

		Percentual de lixiviado na mistura			
		8%	16%	64%	100%
Medidas	Vazão (L/h)	13,9	13,9	13,9	13,9
	Área superficial do <i>wetland</i> (m ²)	2,0	2,0	2,0	2,0
	Volume do <i>wetland</i> (m ³)	1,8	1,8	1,8	1,8
DQO	Concentração média do período (mg/L)	287,5	633,6	1412,0	1495,2
	Carga média do período (mg/h)	3996,3	8807,4	19626,8	20783,3
	Taxa de aplicação superficial (mg/m ² .h)	1998,1	4403,7	9813,4	10391,6
	Taxa de aplicação volumétrica (mg/m ³ .h)	2220,1	4893,0	10903,8	11546,3
DBO	Concentração média do período (mg/L)	81,5	158,9	442,7	496,7
	Carga média do período (mg/h)	1132,9	2208,7	6153,5	6904,1
	Taxa de aplicação superficial (mg/m ² .h)	566,4	1104,4	3076,8	3452,1
	Taxa de aplicação volumétrica (mg/m ³ .h)	629,4	1227,1	3418,6	1917,8
N. Amon.	Concentração média do período (mg/L)	69,5	79,6	104,1	170,7
	Carga média do período (mg/h)	965,7	1106,9	1447,2	2372,3
	Taxa de aplicação superficial (mg/m ² .h)	482,9	553,4	723,6	1186,2
	Taxa de aplicação volumétrica (mg/m ³ .h)	536,5	614,9	804,0	1318,0
Fósforo	Concentração média do período (mg/L)	4,4	15,4	9,7	10,4
	Carga média do período (mg/h)	60,5	213,8	134,4	144,8
	Taxa de aplicação superficial (mg/m ² .h)	30,2	106,9	67,2	72,4
	Taxa de aplicação volumétrica (mg/m ³ .h)	33,6	118,8	74,7	80,5

6.2.3.1 Segundo Plantio com 8% de lixiviado e 92% de esgoto

A mistura de 8% de lixiviado do segundo plantio ocorreu de 22 a 29 de outubro de 2009 entre as temperaturas médias de 22°C, durante 7 dias durante a primavera.

As remoções médias encontradas para a DQO foram de 144,5mg/L, 146,3mg/L e 124,3mg/L que percentualmente representam 50,2%, 50,8% e 43,2% respectivamente para WH0, WH e WV (Figura 49).

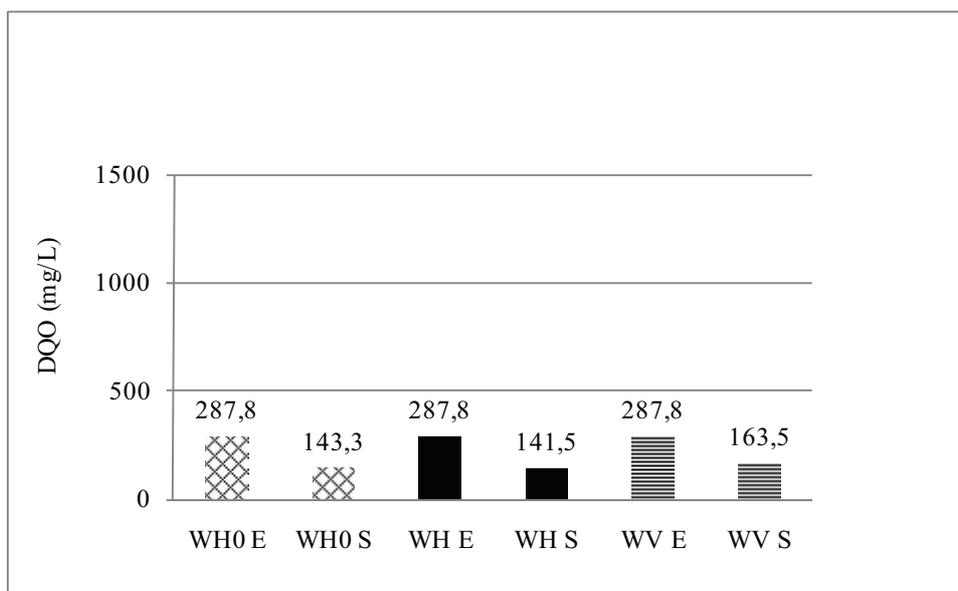


Figura 49: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=2).

As remoções médias apresentadas para a DBO no período com mistura de 8% de lixiviado foram de 42,1mg/L, 51,5mg/L e 49mg/L com percentuais de 51,7%, 63,2% e 60,1% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 50). A maior remoção média apresentada ocorreu no WH. A relação DBO/DQO apresentada para o período desta mistura foi de 0,3 tanto para entrada como para a saída do WH0. Para WH e WV as relações apresentadas foram 0,3 para entrada e 0,2 para a saída.

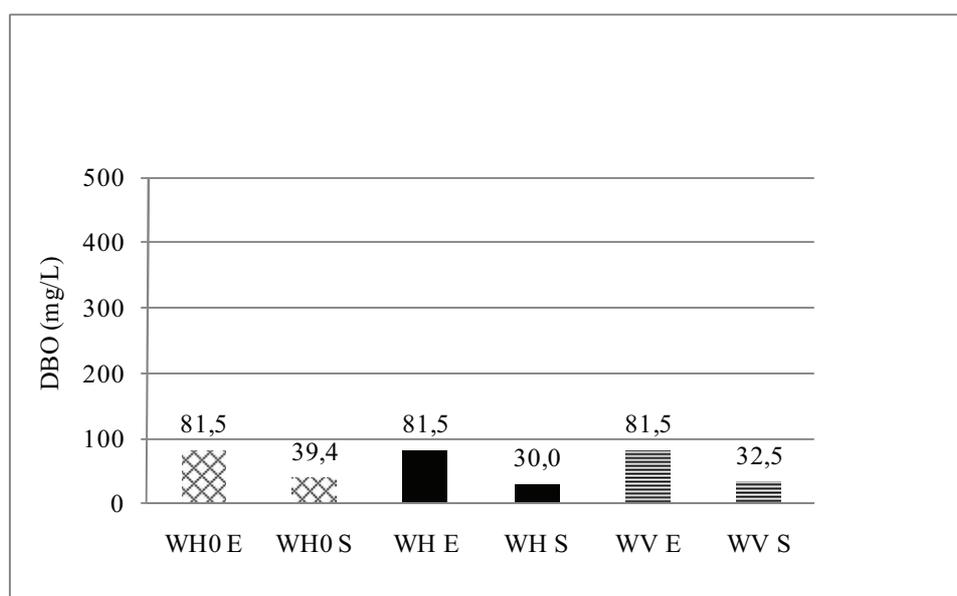


Figura 50: DBO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=2).

As remoções, encontradas para este período, foram de 26,6mg/L, 32,4mg/L e 18,4mg/L correspondendo a 38,3%, 46,7%, 26,4% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 51). Estes resultados indicam melhores remoções de nitrogênio amoniacal nos *wetlands* de fluxo horizontal, o mesmo ocorreu no primeiro plantio. WH promoveu maiores remoções de nitrogênio amoniacal que os outros *wetlands*. As remoções médias de nitrogênio amoniacal encontradas na mistura de 8%, para o WH, foram 56,4% no primeiro e 46,7% no segundo plantio.

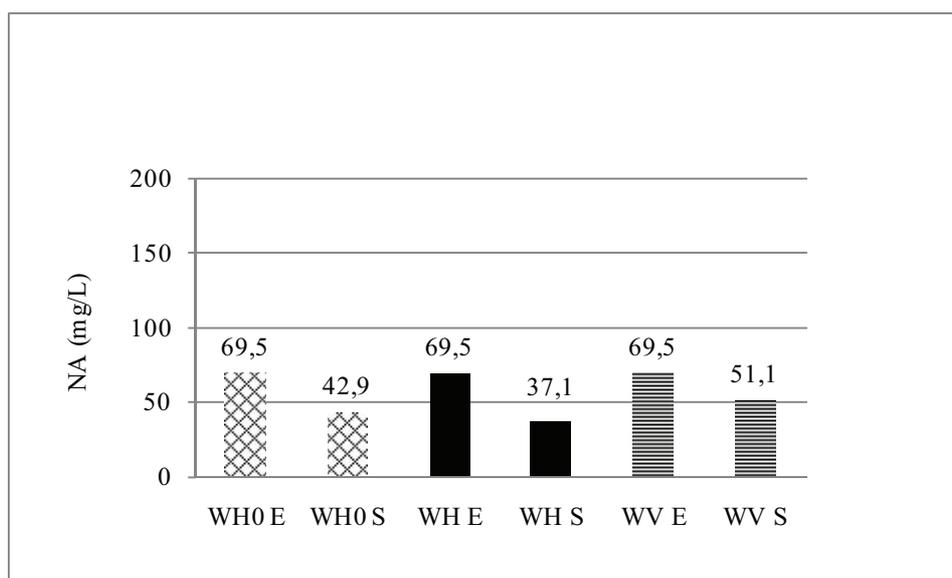


Figura 51: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=2).

Com relação ao parâmetro fósforo, as remoções médias apresentadas foram de 1,0mg/L, 1,1mg/L e 0,03mg/L que representam em percentual de 21,7%, 25,1% e 0,6% (Figura 52). Igualmente ao primeiro plantio, as maiores remoções foram apresentadas pelos *wetlands* horizontais. O WH apresentou maiores remoções de fósforo no segundo plantio (25,1%).

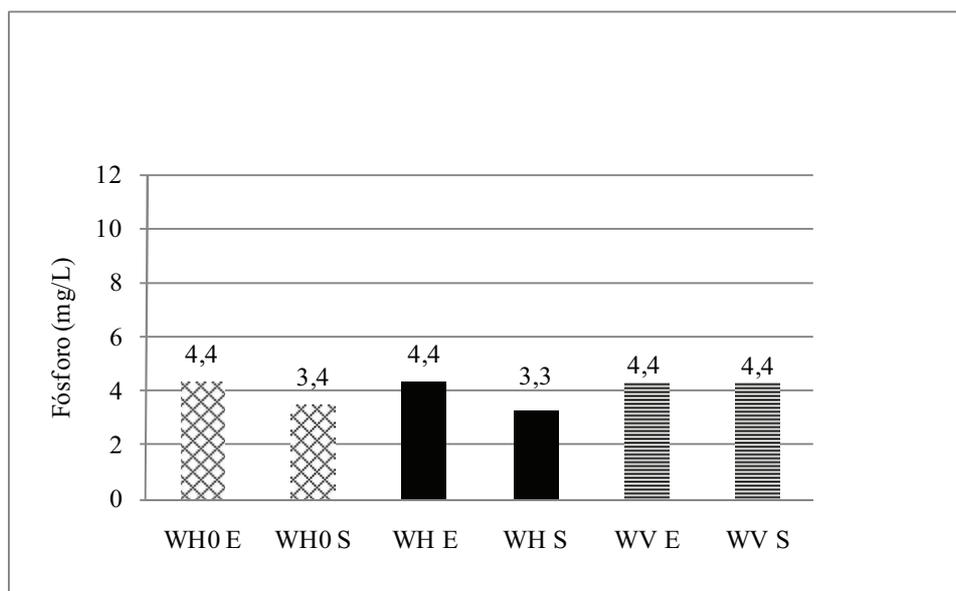


Figura 52: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 8% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=2).

6.2.3.2 Segundo Plantio com 16% de lixiviado e 84% de esgoto

A mistura de 16% de lixiviado no esgoto do segundo plantio ocorreu durante 35 dias de 05/nov a 10/dez de 2009 na primavera. As temperaturas oscilaram em de 22° a 27°C neste período. As Figuras 53, 54, 55 e 56 apresentam as médias de entrada e saída do período em cada *wetland* para a DQO, DBO, nitrogênio amoniacal e fósforo.

Para a DQO foram apresentadas remoções médias de 441,5mg/L, 456,4mg/L e 416,3mg/L que percentualmente representam 69,7%, 72% e 65,7% para WH0, WH e WV (Figura 53). Os *wetlands* horizontais também foram mais eficientes nesta mistura, com a maior remoção apresentada pelo WH. Em relação ao primeiro plantio, WH0 e WH apresentaram aumento de 3,7% e 11,8% de eficiência no segundo plantio respectivamente.

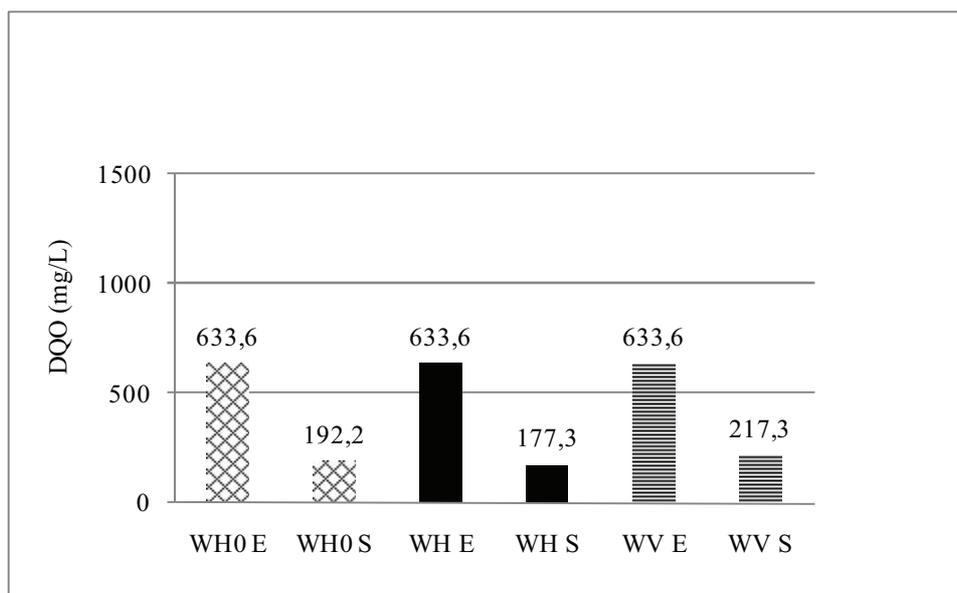


Figura 53: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=6).

As remoções médias apresentadas pelo parâmetro DBO foram de 129,5mg/L, 125,8mg/L e 96,2mg/L que percentualmente representam 81,5%, 79,2%, 60,5% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 54). A maior remoção ocorreu no WH0, seguido do WH com pouca diferença entre ambos e após WV, com diferença de remoção de 21% em relação ao WH0. A relação DBO/DQO média apresentada neste período foi de 0,3 para as entradas e 0,2 para as saídas dos *wetlands* WH0 e WH. O *wetland* vertical apresentou relação média de 0,3 tanto para a entrada como para a saída. As remoções apresentadas na mistura de 16% foram maiores que na mistura de 8% de lixiviado no segundo plantio.

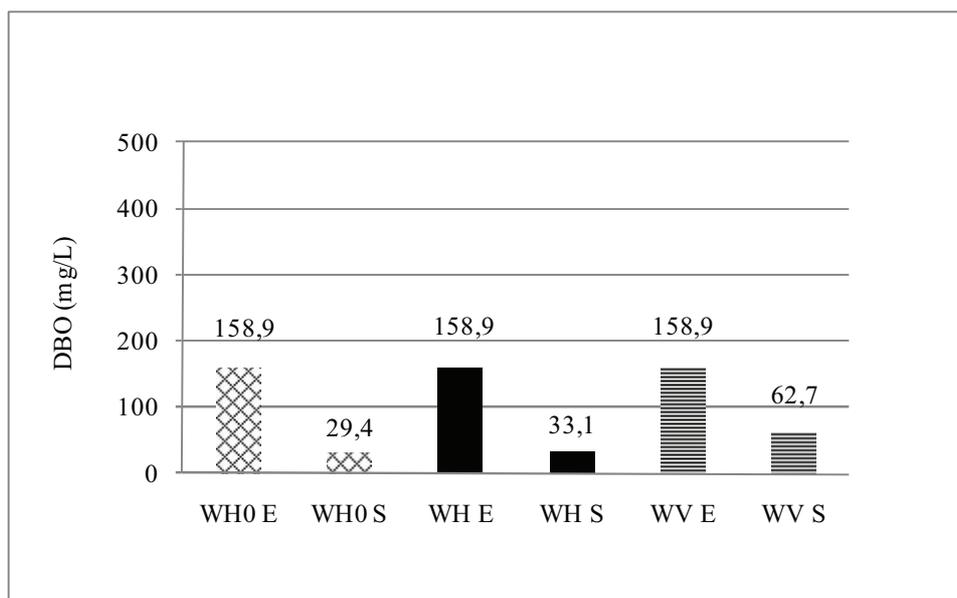


Figura 54: DBO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=6).

As remoções apresentadas para o nitrogênio amoniacal no segundo plantio foram de 45,3mg/L, 18,8mg/L e 12mg/L com percentuais de 56,9%, 23,6% e 15,1% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 55). Embora os *wetlands* com plantas tenham mostrado melhores remoções no primeiro plantio, no segundo plantio demonstraram menores remoções em relação ao WH0. No segundo plantio a amplitude das temperaturas foi um pouco menor (5°C) na primavera em relação ao primeiro plantio (8,8°C) no outono.

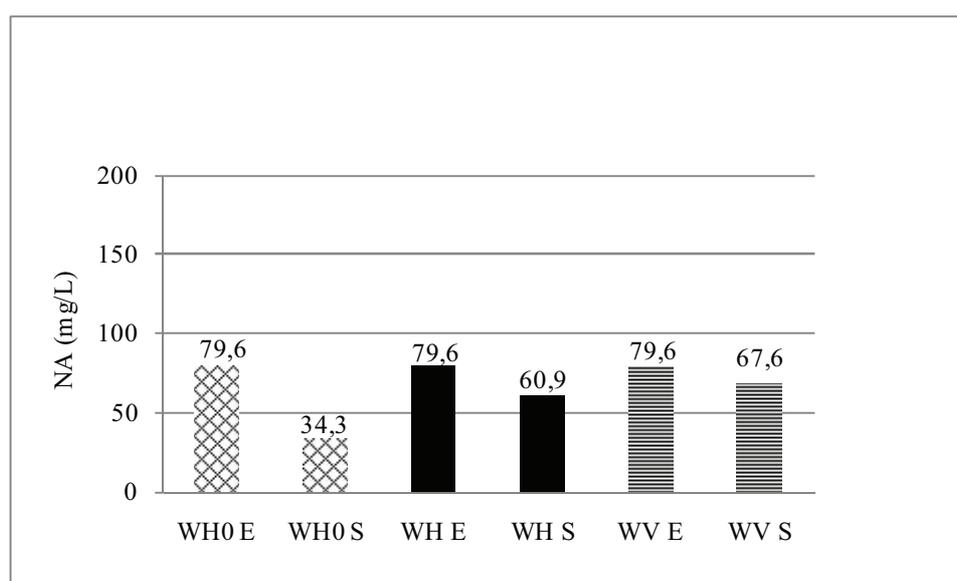


Figura 55: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=6).

O fósforo apresentou remoções médias de 1,1mg/L, 1,1mg/L e 0,9mg/L o que percentualmente representa remoções de 19,9%, 21,0% e 17,1% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 56). O *wetland* horizontal com plantas apresentou as melhores remoções de fósforo tanto no primeiro como no segundo plantio. O primeiro plantio do WH demonstrou maiores remoções médias (41,2%) que o segundo plantio.

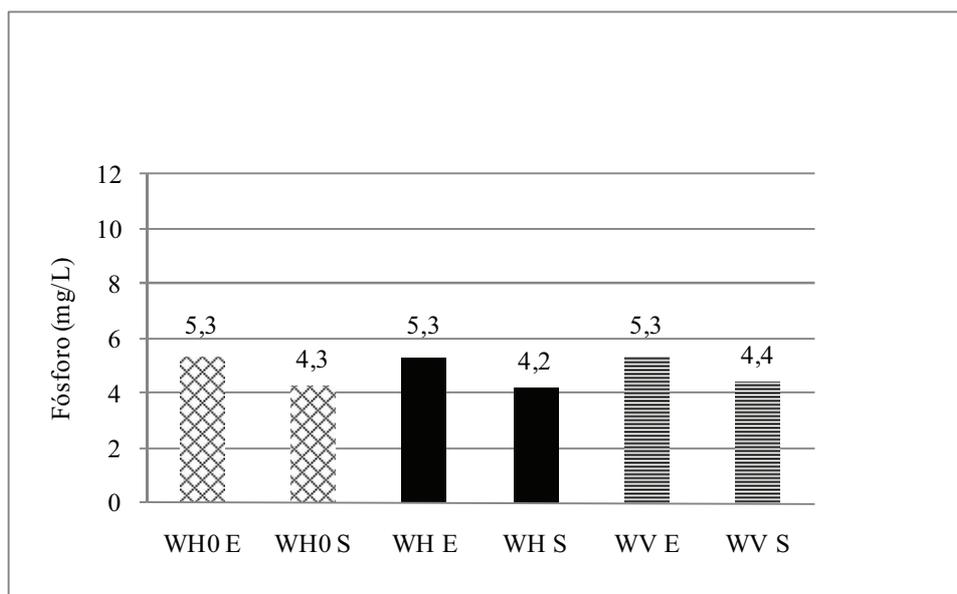


Figura 56: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 16% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=6).

6.2.3.3 Segundo Plantio com 64% de lixiviado e 36% de esgoto

Neste período, a mistura de 64% de lixiviado foi tratada durante 14 dias, de 07/jan a 21/jan de 2010, na estação verão. As temperaturas variaram 10°C, com mínima de 22°C e máxima de 32°C.

A DQO apresentou remoções médias de 1091,9mg/L, 1074,7mg/L e 936,4mg/L representando percentuais de 77,4%, 76,1% e 66,3% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 57). Novamente foram verificadas remoções médias maiores para os *wetlands* horizontais, o que ocorreu também no primeiro plantio.

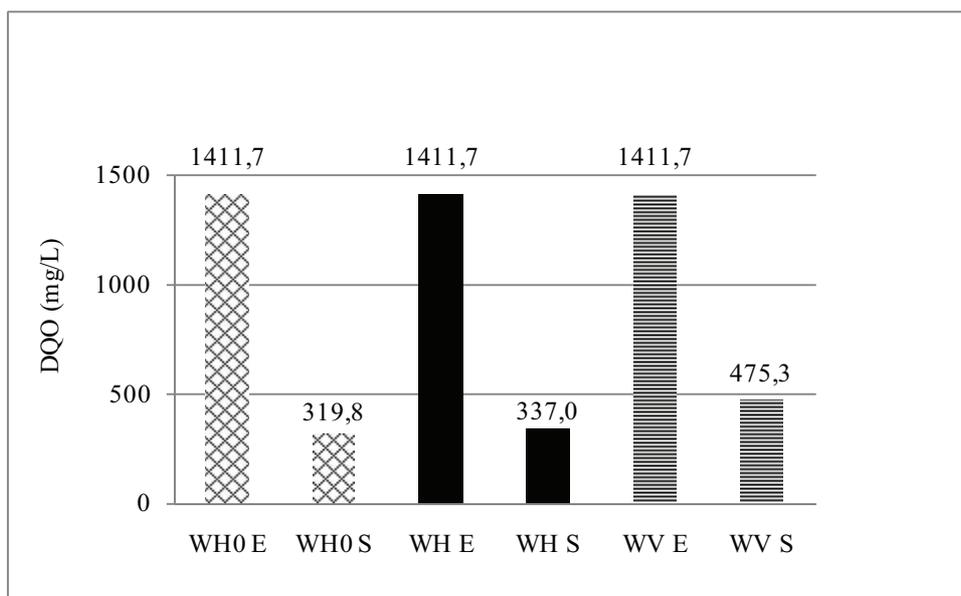


Figura 57: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=3).

As remoções médias encontradas para o nitrogênio amoniacal na mistura de 64% de lixiviado foram 33,2mg/L, 31,6mg/L e 16,2mg/L com percentuais de 31,9%, 30,3% e 15,6% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 58). Os *wetlands* horizontais apresentaram maiores eficiências em comparação ao *wetland* vertical, com WH0 um pouco superior em relação ao WH o que coincidiu com o primeiro plantio.

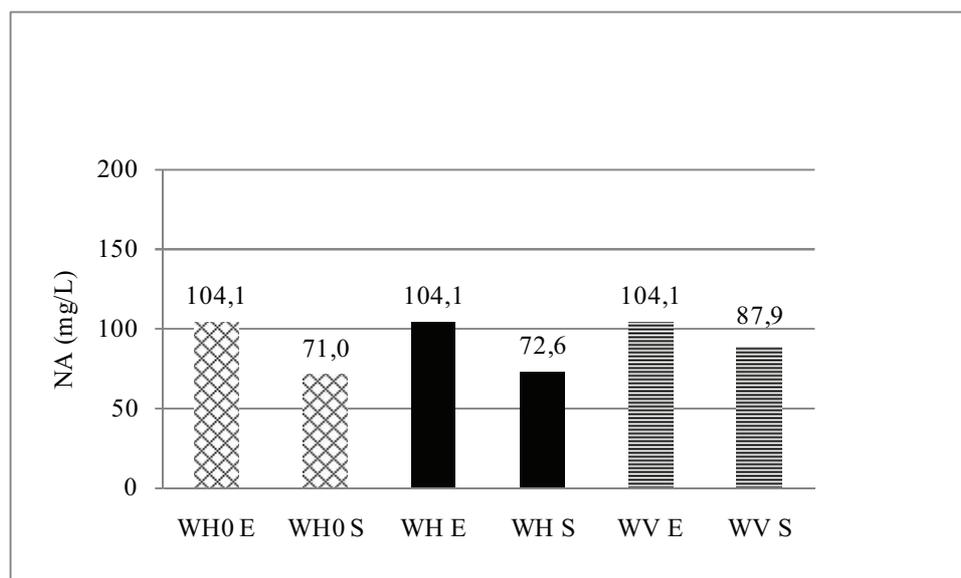


Figura 58: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=3).

As remoções médias encontradas para o fósforo foram de 5,8mg/L, 5,7mg/L e 4,4mg/L com percentuais de 59,7%, 58,6% e 45,2% para WH0, WH e WV

respectivamente (Figura 59). As maiores remoções do segundo plantio ocorreram nos *wetlands* horizontais contrapondo o encontrado no primeiro plantio, onde as maiores remoções foram encontradas nos *wetlands* com plantas.

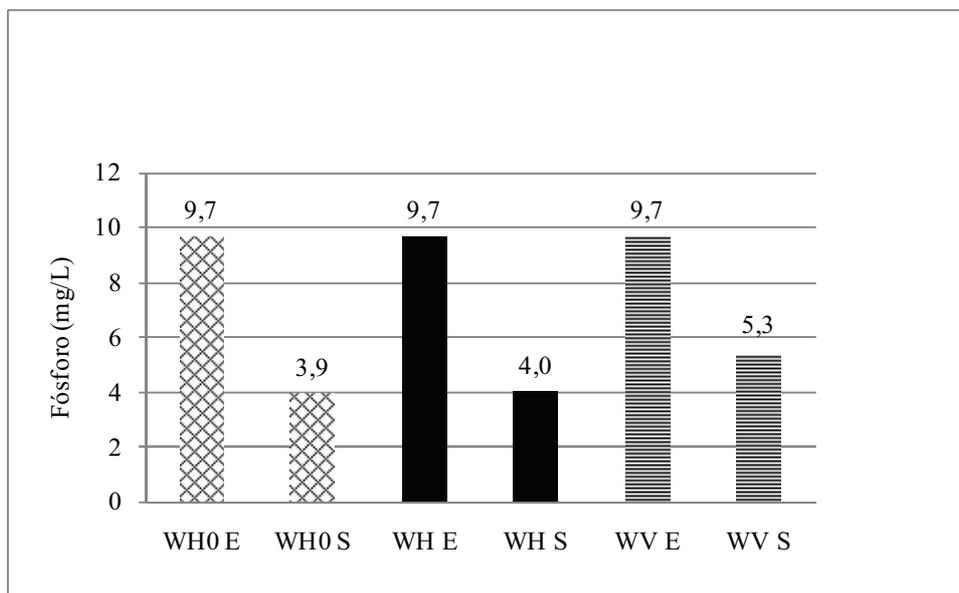


Figura 59: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=3).

As remoções médias de DBO encontradas na mistura de 64% foram 206,7mg/L, 211,7mg/L e 145,0mg/L correspondendo a 46,7%, 47,8% e 32,8% para WH, WH e WV respectivamente (Figura 60). A relação DBO/DQO das saídas dos *wetlands* encontrada nesta mistura foi diferente de todas as demais relações do segundo plantio. Foram encontradas relações de 0,3 para a entrada e 0,7 para a saída dos *wetlands* WH0 e WH e 0,3 para a entrada e 0,6 para a saída do WV. As maiores remoções ocorreram nos *wetlands* horizontais, sendo que nesta mistura ocorreu uma menor eficiência de remoção em relação à mistura de 16%.

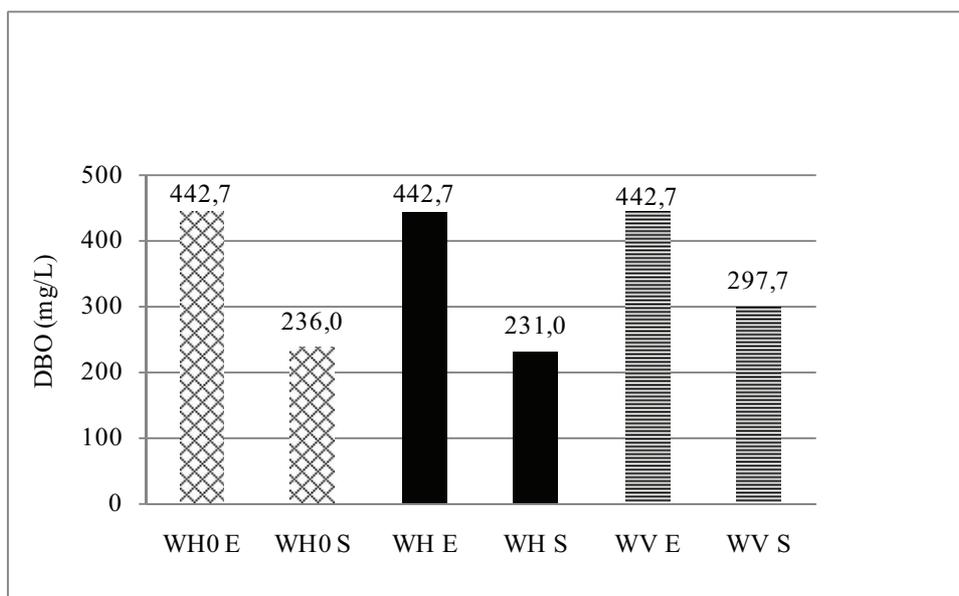


Figura 60: DBO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 64% de lixiviado no esgoto – Segundo plantio (n=3).

6.2.3.4 Segundo Plantio com 100% de lixiviado

O tratamento da mistura de 64% de lixiviado ocorreu de 28/jan a 25/Fev de 2010, 28 dias no verão. As temperaturas variaram de 22°C a 30°C no período.

A DQO no segundo plantio com 100% de lixiviado apresentou remoções de 364,7mg/L, 692,2mg/L e 496,1mg/L percentualmente representando 24,4%, 46,3% e 33,2% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 61). Igualmente ao primeiro plantio, a maior remoção média foi apresentada pelo WH, sendo que no segundo plantio foi verificado um aumento de 20,5% de eficiência na remoção em relação ao primeiro plantio. Sendo que o tratamento de 100% de lixiviado ocorreu, em sua maior parte, no primeiro plantio no inverno e no segundo plantio no verão.

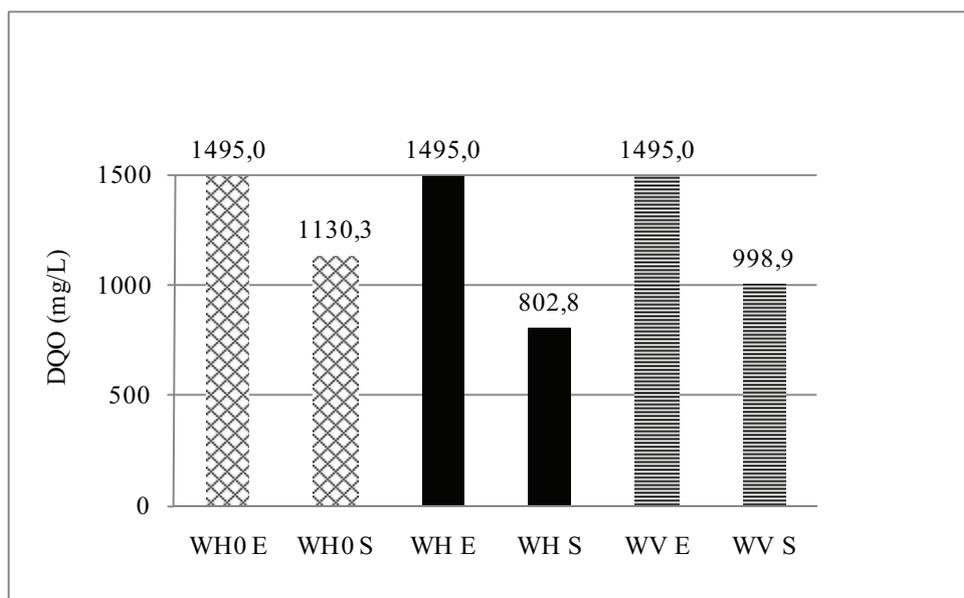


Figura 61: DQO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Segundo plantio (n=5).

O nitrogênio amoniacal apresentou remoções médias de 44,5mg/L, 56,6mg/L e 42,6mg/L representando percentuais de 26%, 33,1% e 24,9% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 62). Os *wetlands* horizontais apresentaram melhores eficiências em relação ao *wetland* vertical. O WH apresentou a maior remoção média. O segundo plantio com 100% de lixiviado ocorreu no verão e demonstrou maiores eficiências de remoção que o primeiro plantio no inverno. No primeiro plantio houve um decaimento nas remoções médias na mistura de 100% em relação à mistura de 64%, o mesmo não ocorreu no segundo plantio, onde as remoções foram praticamente similares entre as misturas de 64% e 100%.

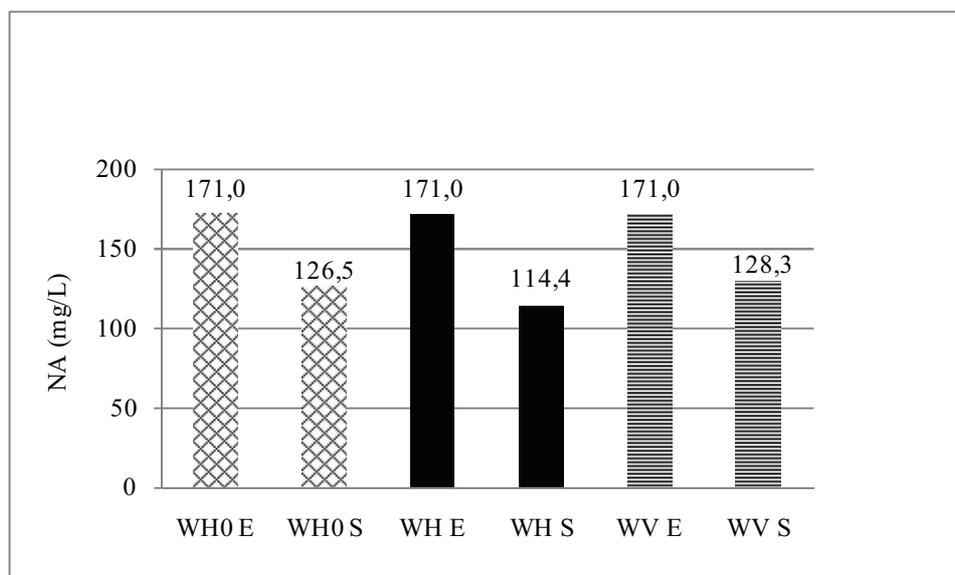


Figura 62: Nitrogênio amoniacal, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Segundo plantio (n=5).

O fósforo apresentou remoções médias de 2,7mg/L, 3,5mg/L e 0,6mg/L percentualmente representam 25,9%, 33,5% e 5,6% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 63). A maior remoção média apresentada pelo WV no primeiro plantio não coincide com o encontrado no segundo plantio. A maior remoção média apresentada para o segundo plantio ocorreu no WH e foi 18,1% maior que o primeiro plantio.

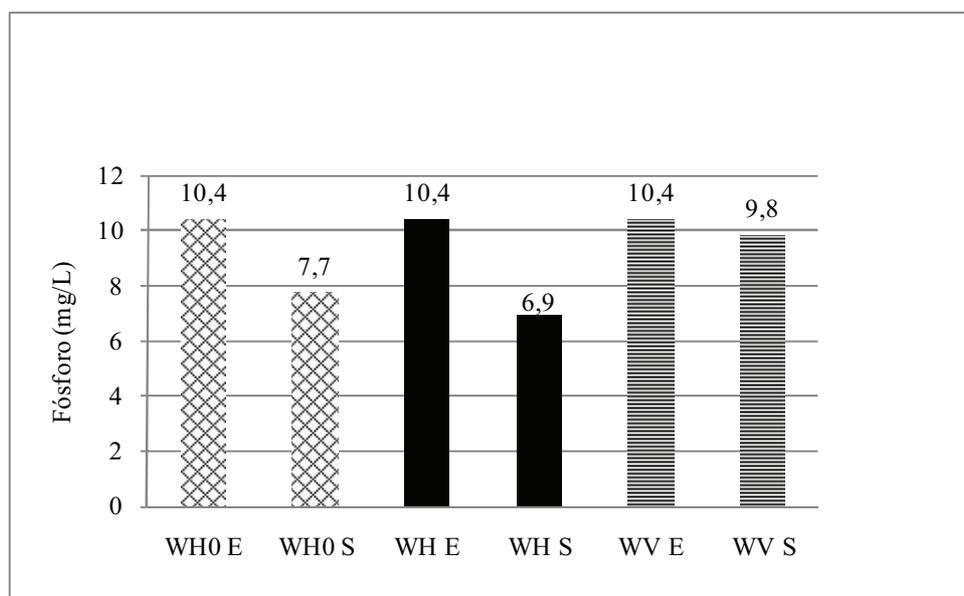


Figura 63: Fósforo, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Segundo plantio (n=5).

As remoções médias de DBO encontradas tratando-se 100% de lixiviado foram de 142,4mg/L, 205,7mg/L e 161,7mg/L, percentualmente representando 28,7%, 41,4% e 32,6% para WH0, WH e WV respectivamente (Figura 64). A maior remoção média do período foi apresentada pelo WH. As relações DBO/DQO foram 0,3 tanto para entrada como saída para WH0 e WV. Para WH a relação foi de 0,3 para entrada e 0,4 para saída.

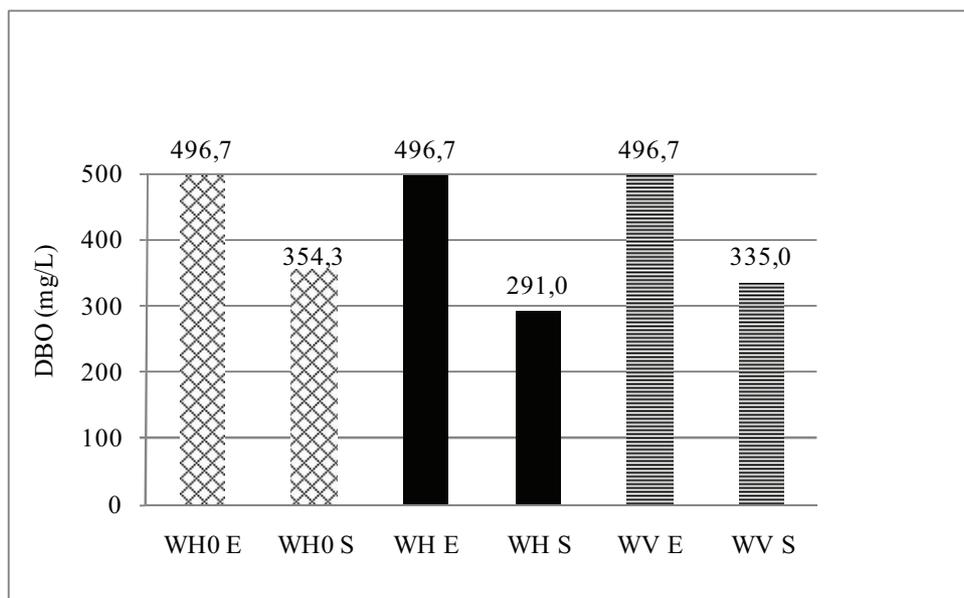


Figura 64: DBO, resultados de entrada e saída do período com percentual de 100% de lixiviado – Segundo plantio (n=5).

6.2.3.5 Considerações finais – Segundo plantio

O monitoramento de todo o período do segundo plantio, 84 dias, de 22/10/2009 a 10/12/2009 e de 07/01/2010 a 25/02/2010, ocorreu passando pelas estações primavera e verão. A seguir seguem os resultados das remoções médias de cada *wetland* no segundo plantio.

As remoções médias de DQO para o WH0 foram de 50,2%, 69,7%, 77,4% e 24,4% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% respectivamente (Figura 65). Sendo a maior remoção encontrada na mistura de 64% e a menor com 100% de lixiviado.

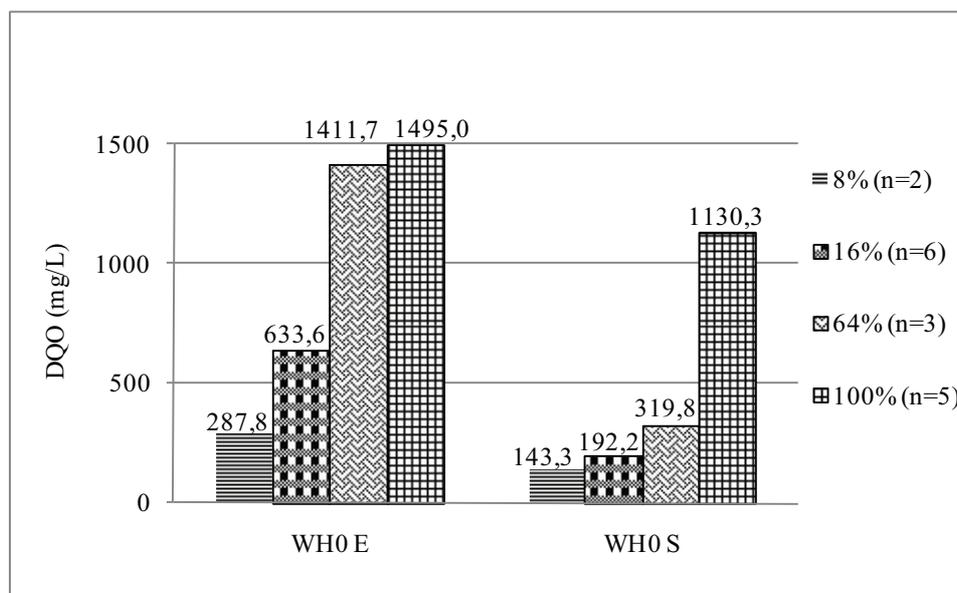


Figura 65: Médias de entrada e saída de DQO do *wetland* horizontal sem plantas (WH0) – Segundo plantio.

O *wetland* horizontal sem plantas apresentou remoções médias de nitrogênio amoniacal em todas as misturas. As remoções já mencionadas anteriormente, foram de 38,3%, 56,9%, 31,89% e 26% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% respectivamente (Figura 66). Sendo sua maior remoção encontrada para a mistura de 16% e a menor para 100% de lixiviado.

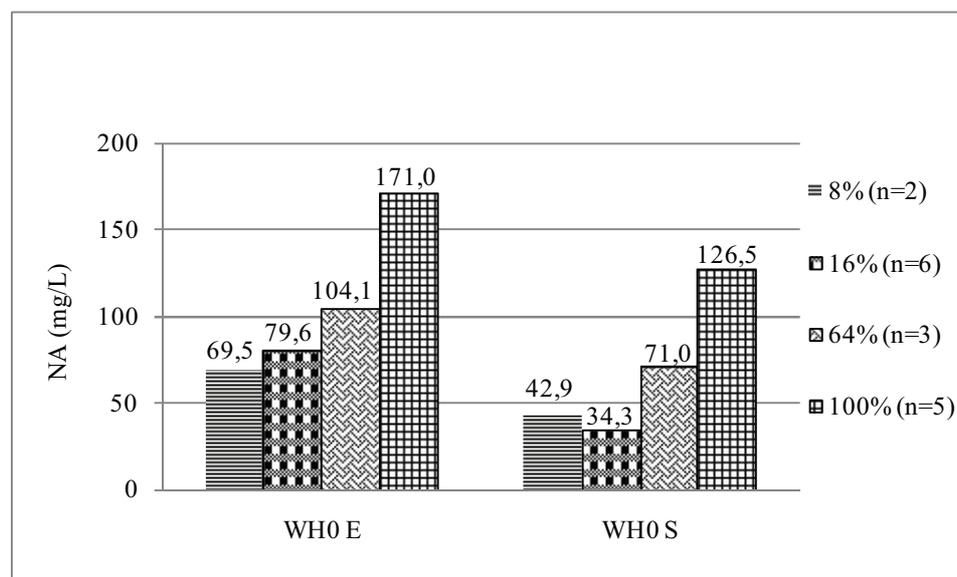


Figura 66: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do *wetland* horizontal sem plantas (WH0) – Segundo plantio.

O fósforo apresentou remoções médias para o WH0 que foram 21,7%, 19,9%, 59,7% e 25,9% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% de lixiviado respectivamente

(Figura 67). A maior remoção média encontrada para o fósforo no WH0 ocorreu na mistura de 64% e a menor com 16% de lixiviado.

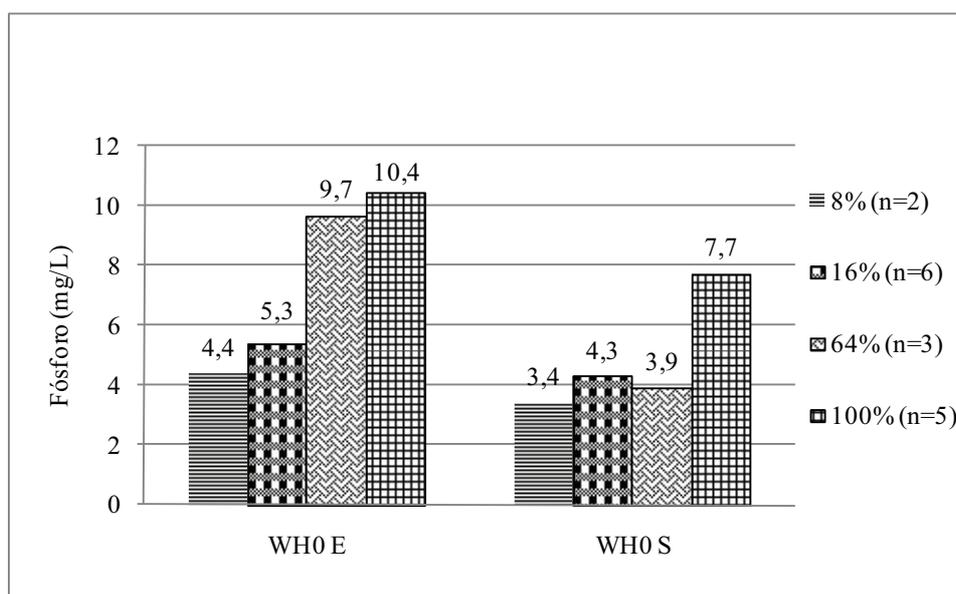


Figura 67: Médias de entrada e saída de fósforo do *wetland* horizontal sem plantas (WH0) – Segundo plantio.

As remoções médias para a DBO no WH0, foram 51,7%, 81,5%, 46,7% e 28,7% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% de lixiviado (Figura 68). A maior remoção média ocorreu na mistura de 16% e a menor com 100% de lixiviado.

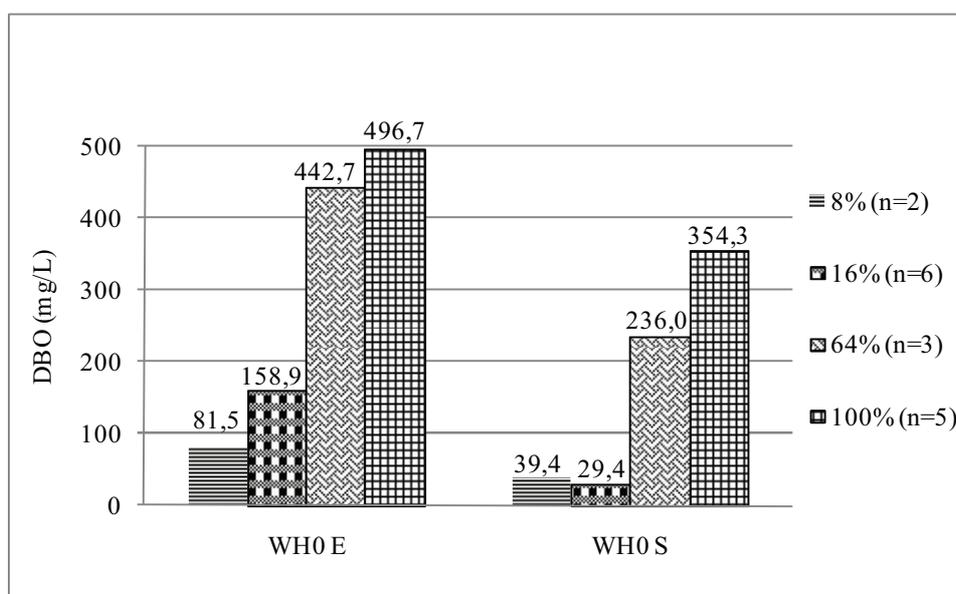


Figura 68: Médias de entrada e saída de DBO do *wetland* horizontal sem plantas (WH0) – Segundo plantio.

Para a DQO, o WH apresentou remoções médias de 50,8%, 72%, 76,1% e 46,3% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% de lixiviado (Figura 69). Sendo que a maior remoção ocorreu na mistura de 64% e a menor com 100% de lixiviado.

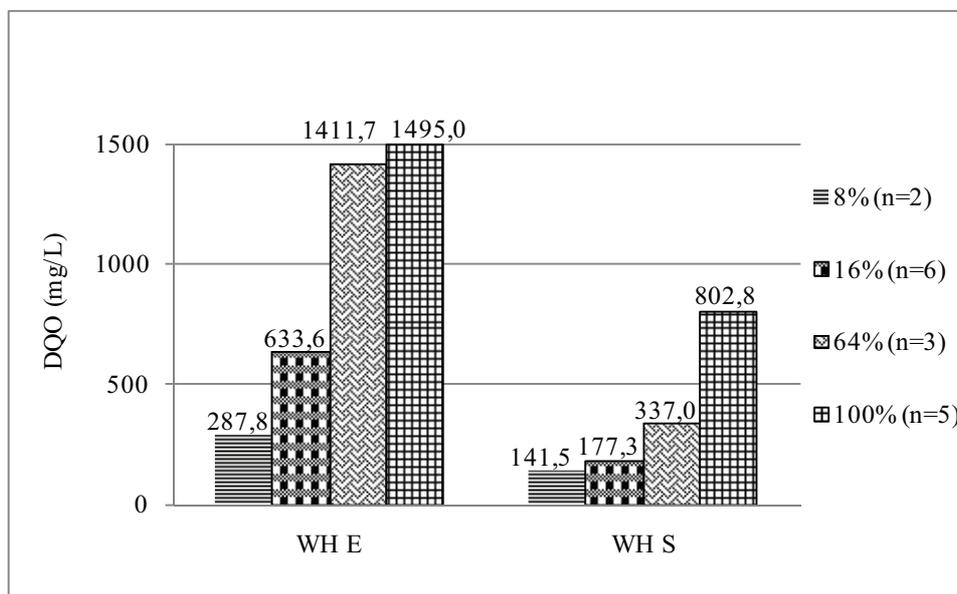


Figura 69: Médias de entrada e saída de DQO do *wetland* horizontal com plantas (WH) – Segundo plantio.

O *wetland* horizontal com plantas, WH, apresentou remoções médias de nitrogênio amoniacal que foram de 46,7%, 23,6%, 30,3% e 33,1% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% de lixiviado (Figura 70).

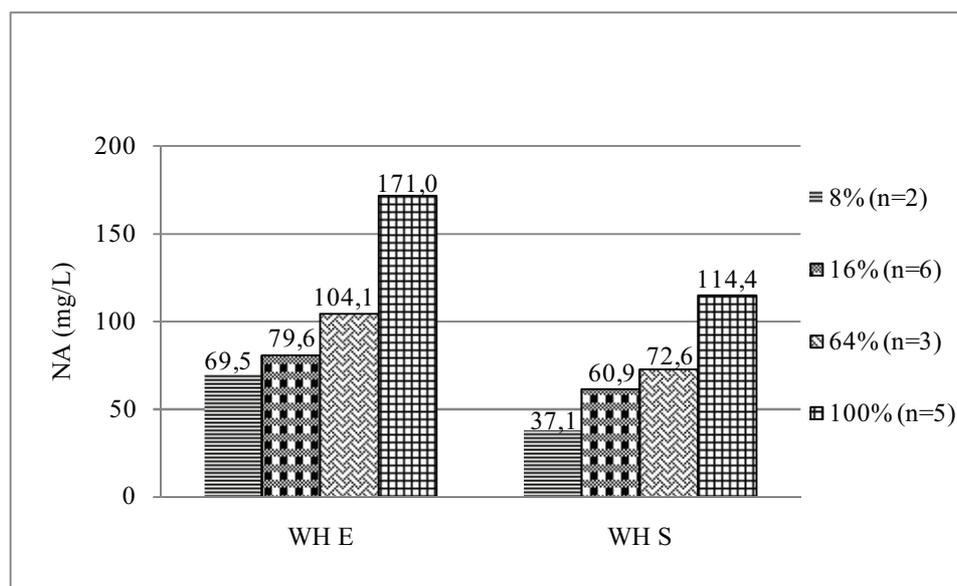


Figura 70: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do *wetland* horizontal com plantas (WH) – Segundo plantio.

A maior remoção média apresentada para o nitrogênio amoniacal foi na mistura de 8% e a menor com 16% de lixiviado (Figura 71).

As remoções médias encontradas para o fósforo no WH do segundo plantio foram de 25,1%, 21,0%, 58,6% e 33,5% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% de lixiviado. A maior remoção média foi encontrada na mistura de 64% e a menor com 16% de lixiviado, o mesmo ocorreu no WH0.

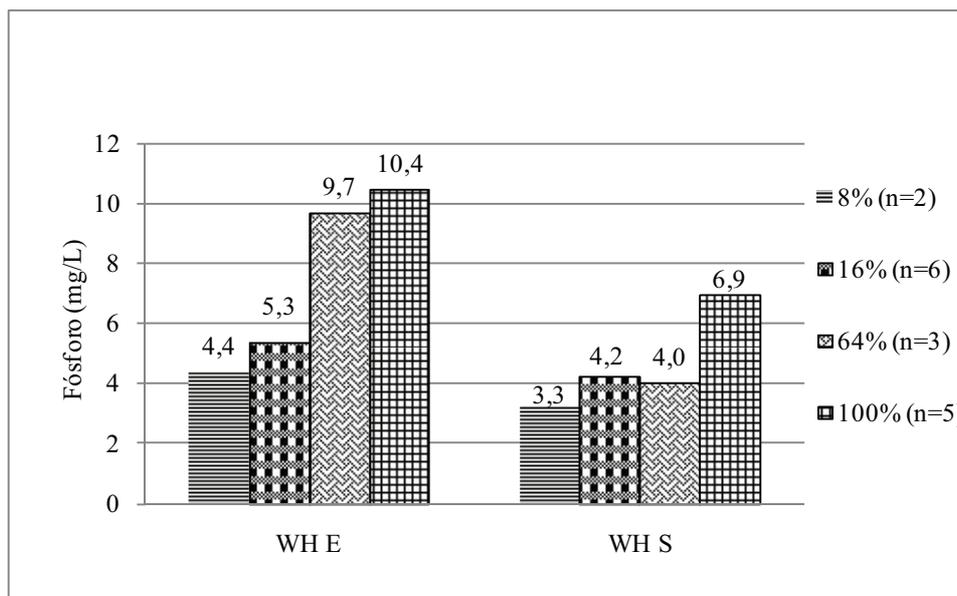


Figura 71: Médias de entrada e saída de fósforo do *wetland* horizontal com plantas (WH) – Segundo plantio.

As remoções médias de DBO apresentadas pelo WH foram 63,2%, 79,2%, 47,8% e 41,4% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% de lixiviado (Figura 72). A máxima remoção apresentada ocorreu na mistura de 16% e a mínima com 100% de lixiviado, coincidindo com o WH0 no segundo plantio.

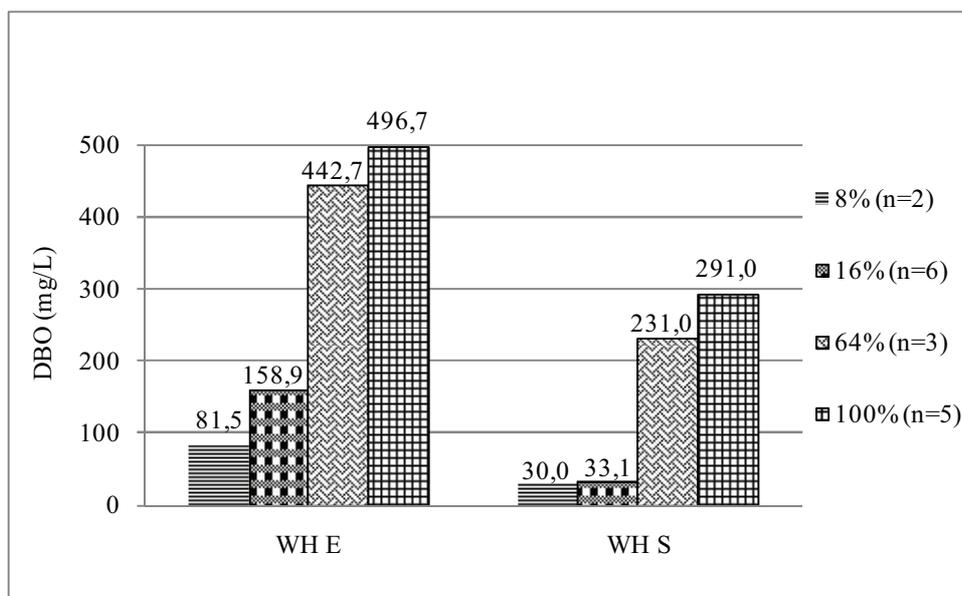


Figura 72: Médias de entrada e saída de DBO do *wetland* horizontal com plantas (WH) – Segundo plantio.

O *wetland* vertical com plantas apresentou remoções médias de DQO de 43,2%, 65,7%, 66,3% e 33,2% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% de lixiviado (Figura 73). A menor remoção média ocorreu na mistura de 100% e a maior na mistura de 64% de lixiviado.

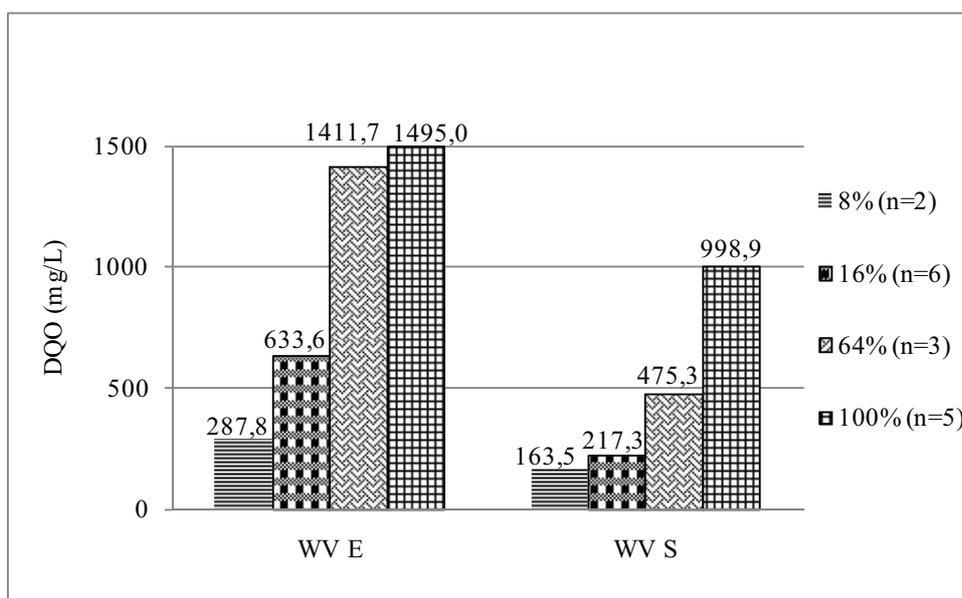


Figura 73: Médias de entrada e saída de DQO do *wetland* vertical com plantas (WV) – Segundo plantio.

O *wetland* vertical com plantas apresentou remoções médias de nitrogênio amoniacal de 26,5%, 15,1%, 15,6% e 24,9% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100%

de lixiviado (Figura 74). A menor remoção média ocorreu na mistura de 16% e a maior na mistura de 8% de lixiviado.

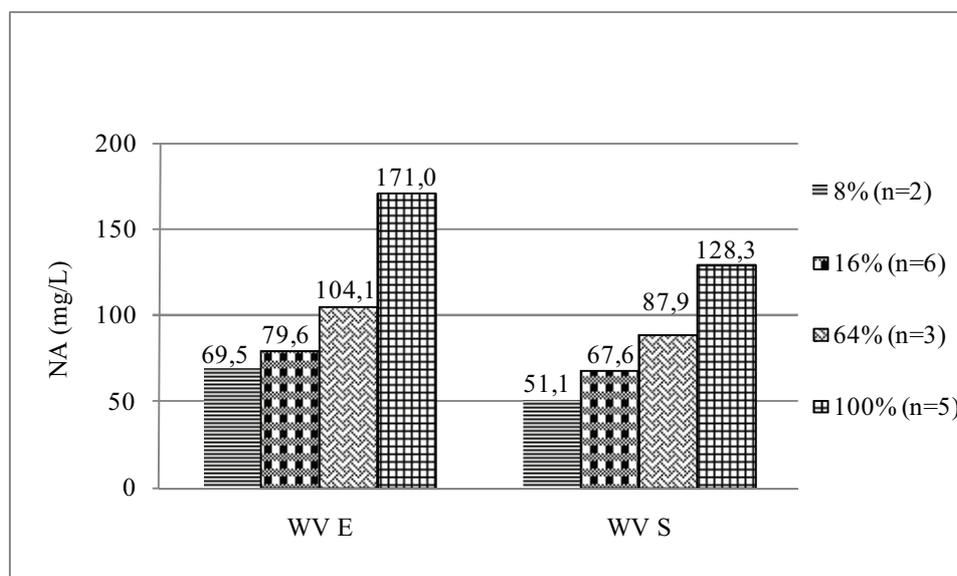


Figura 74: Médias de entrada e saída de nitrogênio amoniacal do *wetland* vertical com plantas (WV) – Segundo plantio.

O *wetland* vertical com plantas apresentou remoções médias de fósforo de 0,6%, 17,1%, 45,2% e 5,6% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% de lixiviado (Figura 75). A menor remoção média ocorreu na mistura de 8% e a maior na mistura de 64% de lixiviado.

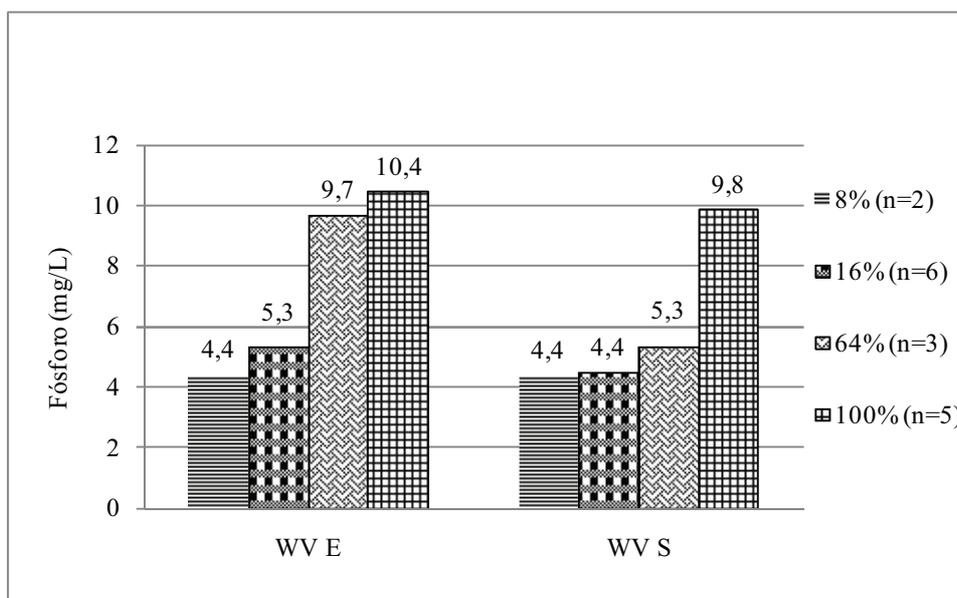


Figura 75: Médias de entrada e saída de fósforo do *wetland* vertical com plantas (WV) – Segundo plantio.

As remoções médias de DBO apresentadas pelo WV foram 60,1%, 60,5%, 32,8% e 32,6% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100% de lixiviado (Figura 76). A máxima remoção apresentada ocorreu nas misturas de 8% e 16% e as mínimas com 64% e 100% de lixiviado.

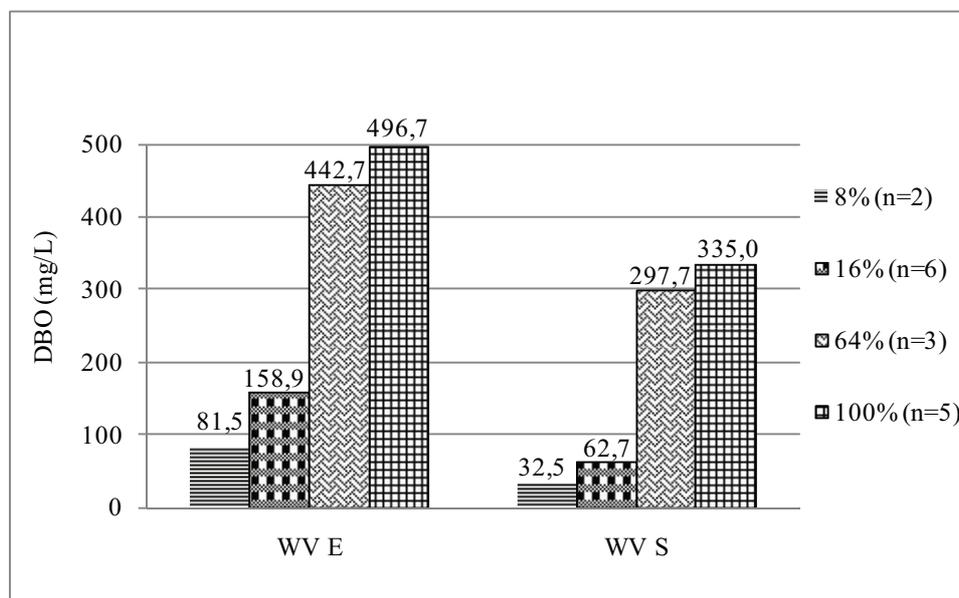


Figura 76: Médias de entrada e saída de DBO do *wetland* vertical com plantas (WV) – Segundo plantio.

A análise estatística realizada no segundo plantio foi exatamente igual a realizada no primeiro plantio. Foram testadas duas hipóteses com o teste estatístico qui-quadrado, não verificado diferença significativa em nenhuma das duas, com isso, foi realizada uma análise comparativa qualitativa onde a Tabela 19 apresenta os eventos em que foram encontradas maiores remoções médias, em cada um dos *wetlands*, divididos por parâmetros e faixas de diluição de lixiviado. Conforme pode ser verificado, as maiores remoções ocorreram, em sua maior parte, no WH com onze dos dezesseis eventos, seguido por WH0 com cinco e em último lugar o WV que não apresentou eventos com remoções maiores do que WH e WH0.

Elaborando uma síntese do segundo plantio, a análise de DQO apresentou superiores remoções médias nos *wetlands* horizontais WH (50,8%, 72%, 46,3% para as misturas de 8%, 16% e 100%), na mistura de 64% WH0 e WH com 77,4% e 76,1% respectivamente. Yalcuk e Ugurlu (2009), também encontraram as melhores remoções de DQO no *wetland* de fluxo horizontal com variações de 11% a 60,9%, embora tenham tratado apenas lixiviado puro. As remoções médias do WV ficaram ligeiramente inferiores

às apresentadas nos *wetlands* horizontais (43,2%, 65,7%, 66,3% e 33,2% para as misturas de 8%, 16%, 64% e 100%). Os maiores percentuais de remoção ocorreram na mistura de 64% de lixiviado para todos os três *wetlands*.

Os *wetlands* horizontais também demonstraram superiores remoções médias de DBO, com destaque para WH, que apresentou remoções médias maiores em quase todas as misturas (63,2%, 47,8%, 41,4% para as misturas de 8%, 64% e 100%). Na mistura de 16%, onde ocorreram as maiores remoções de fósforo do segundo plantio, WH0 e WH praticamente se igualaram com remoções médias de 81,5% e 79,2% respectivamente. O WV também apresentou boas remoções que variaram de 32,6% a 60,5% embora tenham ficado abaixo das encontradas nos *wetlands* horizontais. A melhor remoção de DBO foi encontrada na mistura de 16% tanto para WH0 como para WH. A diferença entre as médias de remoção de DBO entre WH e WV durante o segundo plantio foram de aproximadamente 11,41%. A relação DBO/DQO da alimentação do sistema (entrada) caracterizou um efluente com relação de 0,3 em todas as misturas.

As melhores remoções médias de nitrogênio amoniacal foram apresentadas pelos *wetlands* de sistema horizontal. Este resultado contradiz os relatados por Yalcuk e Ugurlu (2009), que em seu experimento tratando lixiviado puro encontraram melhores remoções nos *wetlands* de fluxo vertical. As misturas de 8% e 100% apresentaram melhores remoções no WH com 46,7% e 33,1% respectivamente. Nos percentuais de 16% e 64% as maiores remoções médias foram apresentadas pelo WH0, 56,9% e 31,9% respectivamente. O *wetlands* de fluxo vertical apresentou as menores remoções de nitrogênio amoniacal em todo o período do segundo plantio. Para a remoção do nitrogênio amoniacal, os maiores percentuais de remoção média para WH e WV foram apresentados na mistura de 8% e WV na mistura de 16%.

Com relação às remoções de fósforo, as maiores médias também foram apresentadas pelos *wetlands* horizontais. O WH foi superior em todas as misturas, apresentando remoções médias de 25,1%, 21,0% e 33,5% para 8%, 16% e 100% de lixiviado, exceção encontrada na mistura de 64%, onde WH0 e WH tiveram remoções semelhantes de 59,7% e 58,6% respectivamente. O WV apresentou as remoções médias de fósforo mais baixas em todas as misturas do segundo plantio.

Tabela 19: Síntese dos resultados de remoções médias dos *wetlands* no segundo plantio.

Parâmetros	Misturas (%)	WH0(%)	WH(%)	WV(%)
DQO	8	50,2	50,8	43,2
	16	69,7	72,0	65,7
	64	77,3	76,1	66,3
	100	24,4	46,3	33,2
DBO	8	51,7	63,2	60,1
	16	81,5	79,2	60,5
	64	46,7	47,8	32,8
	100	28,7	41,4	32,6
NA	8	38,3	46,7	26,4
	16	56,9	23,6	15,1
	64	31,9	30,3	15,6
	100	26,0	33,1	24,9
Fósforo	8	21,7	25,1	0,6
	16	19,9	21,0	17,1
	64	59,7	58,6	45,2
	100	25,9	33,5	5,6

xx – melhor resultado para o parâmetro

xx – melhor resultado entre *wetlands* por diluição de lixiviado

Para o segundo plantio, os melhores resultados para a remoção de matéria orgânica carbonácea e fósforo ocorreu para WH0 com 64%, embora com valores similares ao WH. O desempenho do WV ficou sempre abaixo dos outros dois *wetlands*. No caso do nitrogênio amoniacal, a melhor remoção média ocorreu no WH0 na diluição de 16%.

O pH do segundo plantio também tendenciou a aumentar e permanecer básico devido o acréscimo de lixiviado no esgoto (Apêndice IV).

6.2.2 Considerações primeiro plantio x segundo plantio

Segundo a análise qualitativa levantada entre o primeiro e o segundo plantio, foi verificado que o WH foi soberano em quantidade de eventos de maiores remoções médias, sendo verificados 17 eventos, entre o primeiro e o segundo plantio, seguido pelo WH0 com nove e WV com dois dos 28 eventos. Esta análise não pode ser conclusiva, tendo em vista os resultados observados na análise estatística.

Comparando-se os dois plantios, os resultados indicam um melhor desempenho para a remoção da matéria orgânica no segundo plantio (remoção média máxima de 77,3% para DQO e 81,5% para DBO no WH0) e para nutrientes no primeiro plantio (remoção

média máxima de 56,4% para nitrogênio amoniacal e 67,2% para fósforo no WH), quando as plantas foram colocadas nos *wetlands* na primavera.

Considerando-se a pior situação para o desempenho dos *wetlands* (adição de 100% de lixiviado), as melhores remoções médias ocorreram sempre no segundo plantio, coincidindo com as maiores temperaturas.

Vale ressaltar que as cargas e taxas de aplicação foram diferentes entre os dois plantios, sendo as maiores taxas e cargas de aplicação no primeiro plantio.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para concluir esta dissertação, resumem-se os principais resultados obtidos, correlacionando-os aos objetivos específicos propostos.

OBJETIVO: Acompanhar o desenvolvimento das plantas durante a etapa de aclimação nos *wetlands*.

- ⟨ As *Typha* demonstraram um bom condicionamento perante a exposição do efluente, não apresentando qualquer sintoma de deterioração através do acréscimo de lixiviado de Aterro Sanitário nas concentrações estudadas ao efluente depositado nos *wetlands*.
- ⟨ O acompanhamento do crescimento das plantas acrescido dos resultados de remoção de matéria orgânica carbonácea e nutrientes indicam que a etapa de aclimação foi concluída com sucesso em aproximadamente 100 dias e o aumento paulatino da porcentagem de lixiviado na mistura com esgoto (de 0,5% a 2%) foi adequado.

OBJETIVO: Avaliar o processo de tratamento realizado nos *wetlands* em relação à eficiência de remoção de matéria orgânica carbonácea e nutrientes quando operados com diferentes misturas de lixiviado e esgoto sanitário pré-tratados.

- ⟨ A melhor remoção de matéria orgânica carbonácea foi verificada na mistura de 64% de lixiviado.
- ⟨ Por outro lado, para a remoção de nutrientes, os melhores resultados foram verificados em faixas mais baixas (8% e 16%).

OBJETIVO: Determinar as eficiências de remoção de matéria orgânica carbonácea e nutrientes quando se empregam *wetlands* superficiais de fluxo horizontal e vertical.

- ⟨ Para a remoção de matéria orgânica carbonácea os *wetlands* funcionaram mais como filtros, indicando que mesmo sem as plantas pode-se observar maiores remoções de DQO no WH0.
- ⟨ Verificou-se que independentemente da mistura de lixiviado e esgoto, sempre, para remoção de matéria orgânica carbonácea o WH foi melhor do que o WV.
- ⟨ As maiores remoções de nutrientes ocorreram no WH, ressaltando-se, entretanto, que na análise estatística realizada os resultados indicaram similaridade entre os *wetlands*, ou seja, sem diferenças significativas.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGEVAP. (2007). Associação Pró-Gestão das Águas da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul. Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul. 5f. Relatório Final. Programa específico sobre macrófitas trecho Paulista.

ALMEIDA, R.A., OLIVEIRA, L.F.C., KLIEMANN, H.J. (2007). Eficiência de espécies vegetais na purificação de esgoto sanitário. Revista Pesquisa Agropecuária Tropical v.37, n.1. 9p.

APHA (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition. American Public Health Association, Washington, DC.

BELTRÃO, K.G.Q.B. (2006). Sistema de barreira bioquímica como alternativa para o tratamento de percolado. Tese de Doutorado - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE. 168 p.

BRASIL, M.S., MATOS, A.T., SOARES, A.A. (2007). Plantio e desempenho fenológico da Taboa (*Typha SP.*) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. Revista eletrônica - Engenharia Sanitária e Ambiental Vol. 12 – nº3 – jul/dez 2007, 266-272.

CALHEIROS, C.S.C., RANGEL, A.O.S.S., CASTRO, P.M.L. (2007). Constructed wetland systems vegetated with different plants applied to the treatment of tannery wastewater. Water Research, 41, p.1790 – 1798.

CALIJURI, M.L., BASTOS, R.K.X., CAPELETE, B.C., MAGALHÃES, T.B., FERNANDES, R. (2008). Remoção de nitrogênio e fósforo em wetlands construídas: comportamento temporal. XXXI Congreso Interamericano AIDIS – Santiago, Chile.

CASELLES-OSORIO, A. e GARCIA, J. (2006). Performance of experimental horizontal subsurface flow constructed wetlands fed with dissolved or particulate organic matter. Water Research , 40, p. 3603 – 3611.

CHEN, Z.M., CHEN, B., ZHOU, J.B., LI, Z. ZHOU, Y. XI, X.R., LIN, C. CHEN, G.Q. (2008). A vertical subsurface-flow constructed wetland in Beijing. Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 13, p.1986 –1997.

CONSEMA. (2006). Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução no 128/2006. Porto Alegre, 9p.

COOPER, P.F. e FINDLATER, B.C. (1990). Constructed wetlands in water pollution control, International Association on Water Pollution Research and Control, Pergamon Press, Oxford.

CORREIA, S.S. (2003). Gestão comunitária de resíduos sólidos domiciliares com ênfase na fração orgânica e os impactos gerados na comunidade. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia.

ESCOSTEGUY, P.A.V., CERINI, J.B., GOBBI, D., GOBI, D., CECCONELLO, C.M. (2008). Extração de nutrientes por macrófitas cultivadas com lixiviado de aterro de resíduos sólidos urbanos.

FEPAM. (2009). Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luiz Roessler – RS. Disponível em: <http://www.fepam.rs.gov.br/institucional/institucional.asp> . Acesso em 01 de setembro de 2009.

FERREIRA, J.A., JUCÁ, J.F.T., GOMES, L. P., ALVES, M. C. M., MANNARINO, C.F., COSTA, C.H.R., BELTRÃO, K.G.Q.B. (2006). Sistemas alternativos de tratamento de lixiviados: wetlands construídos e barreiras reativas permeáveis In: Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, v.1, p. 363-424.

FLECK, E. (2003). Sistema integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário. 323 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

GALIMBERTI, P. F. (2003). Os comitês de bacia e o princípio participativo no estado democrático. 136 f Dissertação (Mestrado em Planejamento e Gestão Ambiental) Universidade Católica de Brasília.

GARCIA, J. RUIZ, A. JUNQUERAS, X. (1997). Depuración de águas residuales urbanas mediante humedales construídos. Tecnologia del água, junho.

GOMES, L.P., (2007) PROSAB 5 – Tratamento de lixiviado de RSD: filtro anaeróbio, reator de chicanas e banhado construído (Relatório parcial reunião de São Leopoldo), 50p.

GOMES, L.P., e GEHLING, G. (2007). Guia do Curso de Capacitação: Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, ReCESA, 56p.

GOMES, L.P., (2009) Notas de aula – disciplina de Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. Unisinos, 78p.

GONZÁLEZ, F.T., VALLEJOS. G.G., SILVEIRA, J.H., FRANCO, C.Q., GARCÍA, J., PUIGAGUT, J. (2009). Treatment of swine wastewater with subsurface-flow constructed wetlands in Yucatán, Mexico: Influence of plant species and contact time. Disponível em: http://www.wrc.org.za/Pages/Preview.aspx?ItemID=8469&FromURL=%2fPages%2fDisplayItem.aspx%3fItemID%3d8469%26FromURL%3d%252fPages%252fKH_AdvancedSearch.aspx%253fk%253dTreatment%252bof%252b%252b%252b%252bwastewater%252bwith%252b%252bsubsurface-flow%2526dt%253d5%2526ms%253d56%25253b. Acesso em: 11/05/2010

KISSMANN, K.G. (1997). Plantas infestantes e nocivas. 2 ed. v.1. São Paulo: BASF, p. 569-572.

LANGE, L.C. e AMARAL, M.C.S. (2009) Geração e Características do Lixiviado. In: Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Organizadora: Luciana Paulo Gomes. 1 ed. Rio de Janeiro : ABES RJ, v.1, 358p.

LAUTENSCHLAGER, S.R. (2001). Modelagem do desempenho de wetlands construídas. São Paulo, SP, USP. Originalmente apresentada como dissertação de mestrado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

LIN, Y.F., JING, S.R., LEE, D.Y., CHANG, Y.F., CHEN, Y.M., SHIH, K.C. (2005). Performance of a constructed wetland treating intensive shrimp aquaculture wastewater under high hydraulic loading rate. *Environmental Pollution*, v.134, p.411-421.

MACHADO, A. A. S. C. (1998). A água e a biosfera: (V) A água e o corpo humano. *Revista Indústria da Água*. Ano 7, Abril/Maio/Junho. n. 27, p.7-10.

MAEHLUM, T.; HAARSTAD, K. (1997). Leachate treatment in ponds and wetlands in cold climate. In: *Sixth International Landfill Symposium, 1997, Sardinia. Anais...Sardinia, 1997*, p. 337-344.

MALAVOLTA, E. (1989). *Abc DA ADUBAÇÃO – 5º e*. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 292p.

MANNARINO, F.C., FERREIRA, J.A., CAMPOS, J.C., RITTER, E. (2006). Wetlands para tratamento de lixiviados de aterros sanitário: experiências no aterro sanitário de Pirai e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ). *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, vol. 11, n. 2, p.108-112.

MATZENAUER, H. B. (2003). Uma metodologia multicritério construtivista de avaliação de alternativas para o planejamento de recursos hídricos de bacias hidrográficas. 636 f Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) Instituto de Pesquisas Hidráulicas. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

MEIRA, C.M.B.S., CEBALLOS, B.S.O., SOUSA, J.T., KONIG, A. (2001). Wetlands vegetados no polimento de águas superficiais poluídas: primeiros resultados. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

NAIME, R., GARCIA, A.C. (2005). Utilização de enraizadas no tratamento de efluentes agroindustriais. *Revista Estudos Tecnológicos* Vol. 1, nº 2, 9-20.

PAZ, V.P.S., TEODORO, R.E.F., MENDONÇA, F.C. (2000). Recursos Hídricos, Agricultura Irrigada e Meio Ambiente. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.4, n.3, p.465-473, Campina Grande, PB, DEAg/UFPB.

PEREIRA, S.S; MELO, J.A.B. (2008). Gestão dos resíduos sólidos urbanos em Campina Grande/PB e seus reflexos socioeconômicos. *Revista Brasileira de Gestão e Desenvolvimento Regional. (G&DR)*, v. 4, n. 4, p. 193-217, set-dez/2008, Taubaté, SP.

PLETSCH, M. CHARLWOOD, B. S. (1999). Fitorremediação de águas e solos poluídos. Disponível em: <http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio11/fito.pdf> Acesso em: 08 de Julho de 2009.

RASSRHERGS. (2002). Relatório Anual Sobre a Situação dos Recursos Hídricos no Estado do Rio Grande do Sul. Disponível em:
http://www.sema.rs.gov.br/sema/html/doc/Relatorio_RH_Final_2002.pdf Acesso em 10 de setembro de 2009.

REITZ, R. (1984). Tifáceas. Flora ilustrada catarinense, Itajaí: Herbário “Barbosa Rodrigues”, 1984. 16p.

RENOU, S., GIVAUDAN, J.G., POULAIN, S., DIRASSOUYAN, F., MOULIN, P. (2008). Landfill leachate treatment: Review and opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, 150, p. 468 – 493.

SALATI, E. (s/d). Controle de Qualidade de Água Através de Sistemas de Wetlands Construídos. FBDS-Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável.

SCHIMANKO, H. (2008). Sistemas de Tratamento do Lixiviado de Aterro Sanitário. Monografia (Conclusão graduação Engenharia Civil) Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Santa Maria.

UNISINOS - Sistema de Gestão Ambiental; GOMES, Luciana P. (Coord.). (2008) Relatório Técnico. - Estação de Tratamento de Esgotos da Unisinos - São Leopoldo/RS. Disponível em: <www.minha.unisinos.br/sga>. Acesso em: 20/04/2010.

UNISINOS - Sistema de Gestão Ambiental; GOMES, Luciana P. (Coord.). (2009) Relatório Técnico. - Estação de Tratamento de Esgotos da Unisinos - São Leopoldo/RS. Disponível em: <www.minha.unisinos.br/sga>. Acesso em: 20/04/2010.

SEZERINO, P.H., BENTO, A.P., ALVARENGA, R.A.F., VALENTE, V.B., PHILIPPI, L.S. (2005). Filtro plantado com *Typha sp.* de fluxo horizontal (constructed wetland) aplicado como polimento de efluente de lagoa facultativa. 23º Congresso Associação Brasileira de Engenharia Sanitária.

SILVA, D.C. (2008). Parâmetros de interesse para projetos de planejamento, implantação e operação de consórcio intermunicipal para o gerenciamento de resíduos sólidos urbanos na Bacia Hidrográfica do Rio dos Sinos, Rio Grande do Sul.

SILVA, A.C. (2002). Tratamento do percolado de aterro sanitário e avaliação de toxicidade. 111 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro.

SL AMBIENTAL. (2010). Relatórios técnicos de monitoramento da ETLix São Leopoldo. Dados fornecidos pelo Engenheiro Rafael Soares Sandrini.

SOARES, A.C.B., MOURA, F.C., PRASS, M., DAISZ, O.C. Avaliação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos de São Leopoldo – Comparativo ao estudo de 2006 e detalhamento setorizado. Relatório técnico SEMMAM. São Leopoldo, 30p., 2009.

SOUSA, J.T., HAANDEL, A.V., LIMA, E.P.C, HENRIQUE, I.N. (2004). Utilização de wetland construído no pós-tratamento de esgotos domésticos pré-tratados em reator UASB. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental* Vol. 9 - Nº 4 - out/dez 2004, 285-290.

SUN, G., AUSTIN, D. (2007). Completely autotrophic nitrogen-removal over nitrite in lab-scale constructed wetlands: Evidence from a mass balance study. *Chemosphere*, 68 p.1120–1128.

TAUCHERT, E., ZAMORA, P.P. (2004). Avaliação de processos fotoeletroquímicos no tratamento de líquidos lixiviados de aterros sanitários. Nota técnica. *Revista Engenharia Sanitária Ambiental*. v. 9, n. 3, julho/setembro, p.197-201.

TONIATO, J.V., ROQUE, O.C.C, KACZALA, F., NASCIMENTO, V.B., ROQUE, D.C. (2005). Avaliação de um wetland construído no tratamento de efluentes sépticos. 23º Congresso Associação Brasileira de Engenharia Sanitária.

VALENTIM, M. A. A. (2003). Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. 233 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

VANZIN, E., PANDOLFO, A., BRANDLI, L., GHENO, R., KUREK, J., (2006). Análise da viabilidade econômica do uso do biogás de aterros sanitários para geração de energia elétrica: aplicação no aterro metropolitano Santa Tecla. XXVI ENEGEP – Encontro Nacional de Engenharia de Produção Fortaleza, CE.

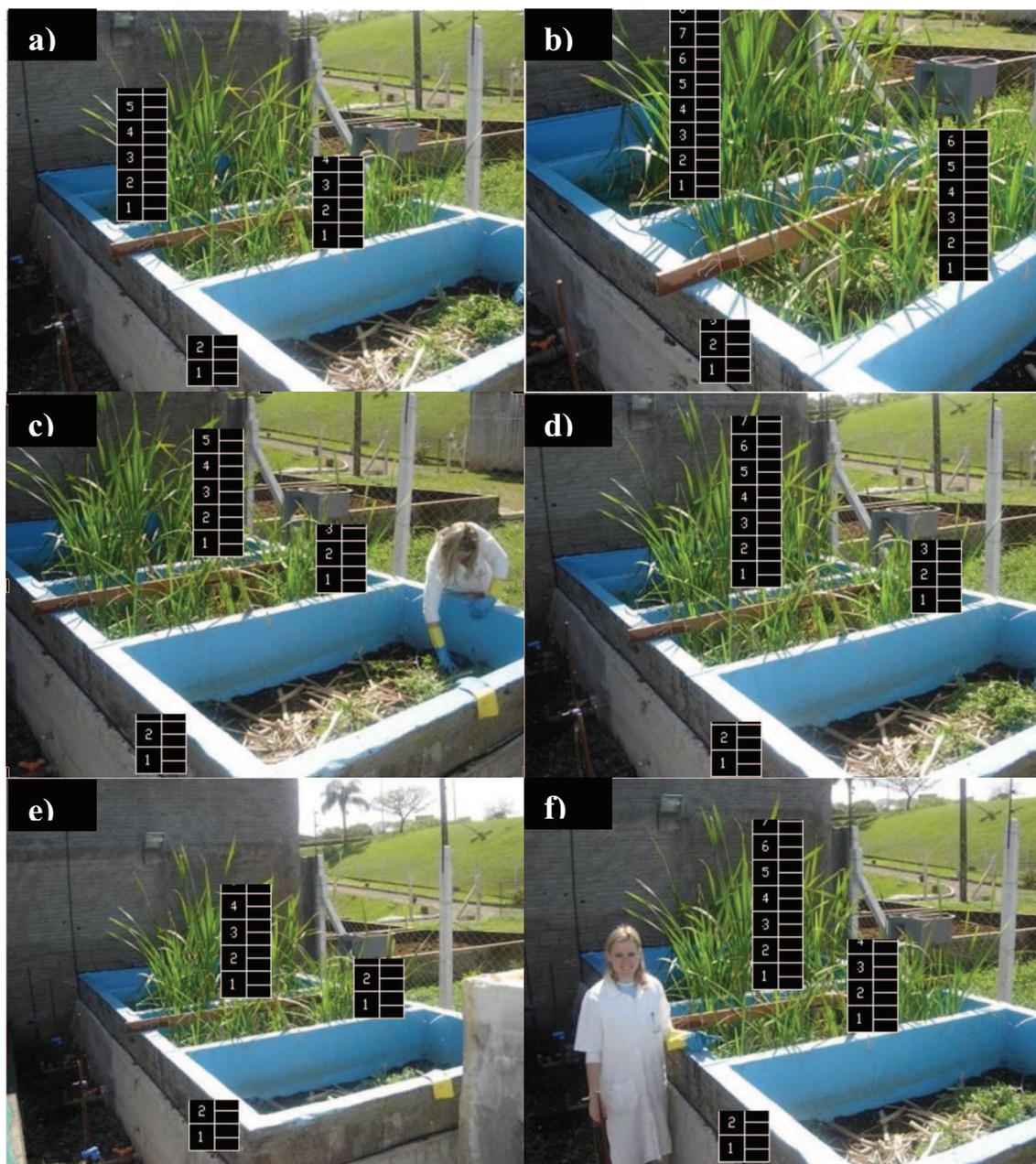
VYMAZAL, J. (2002). The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience. *Ecological Engineering*, 18, p. 633 – 646.

VON SPERLING, M., CARAUCCI FILHO, B., MONTEGGIA, L.O., PIVELLI, R.P. (2009). Remoção de nutrientes em sistemas naturais. In: *Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção*.

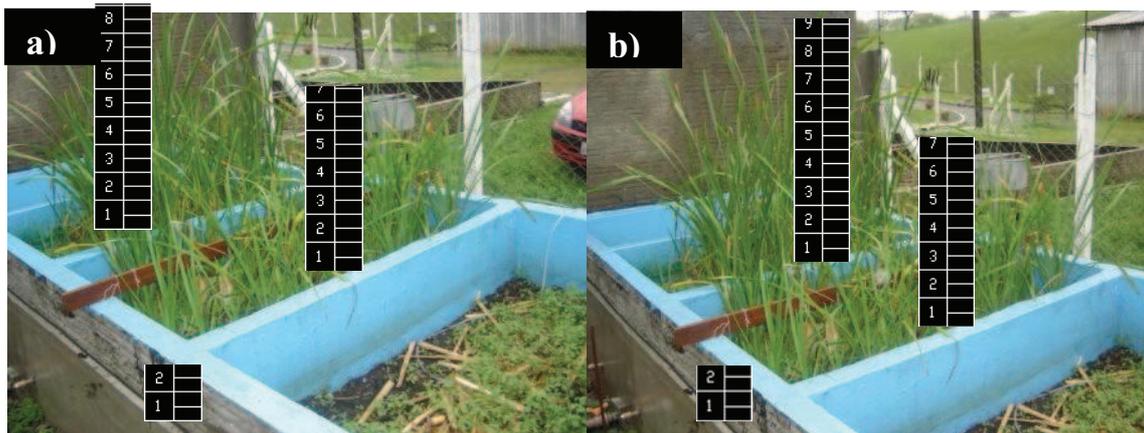
YALCUK, A. e UGURLU, A. (2009). Comparison of horizontal and vertical constructed wetland systems for landfill leachate treatment. *Bioresource Technology*, 100, p. 2521–2526. 1 ed. Rio de Janeiro: ABES, v.2, p. 293-340.

APÊNDICES

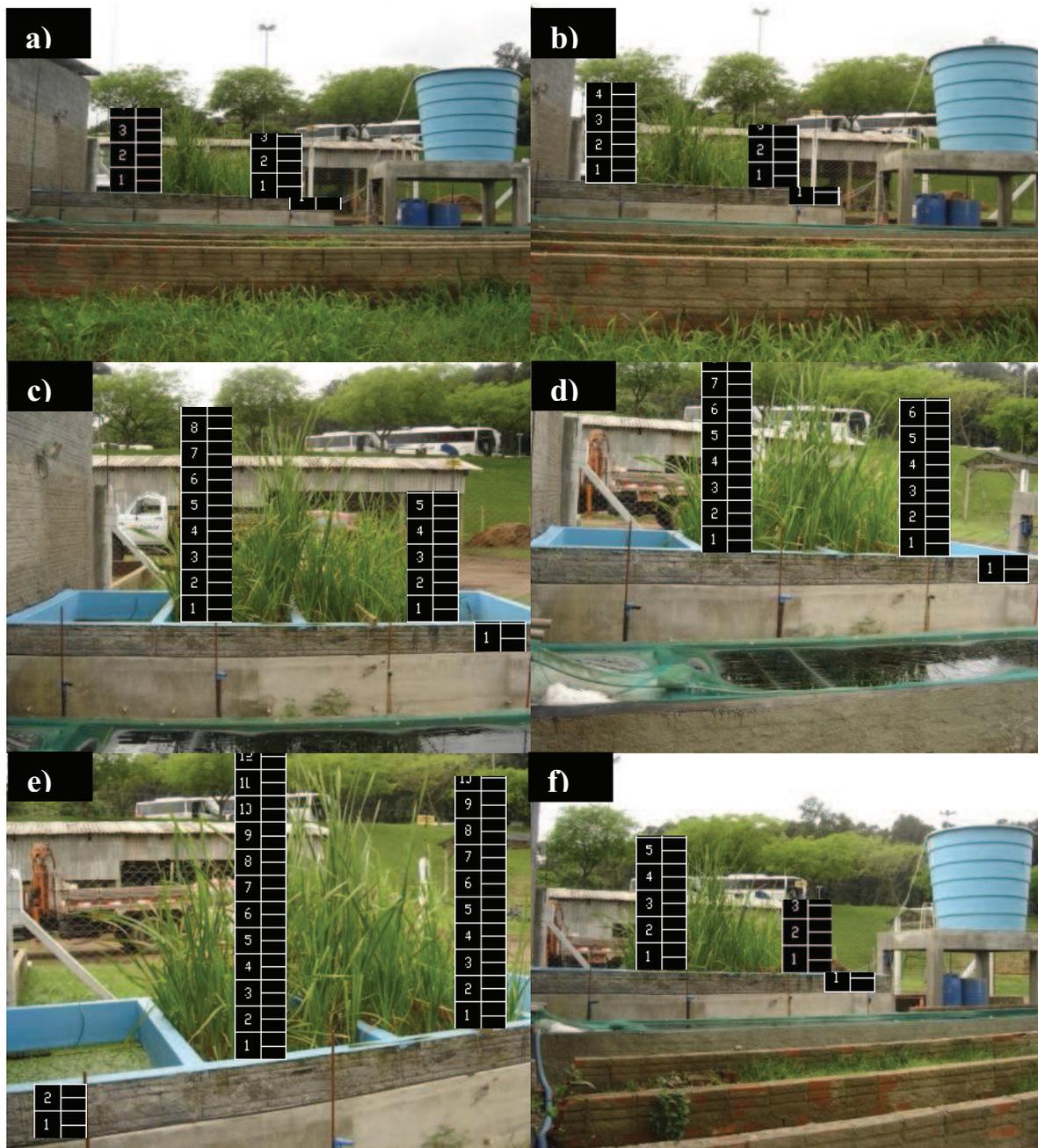
APÊNDICE I – Resultado fotográfico da aclimação das plantas



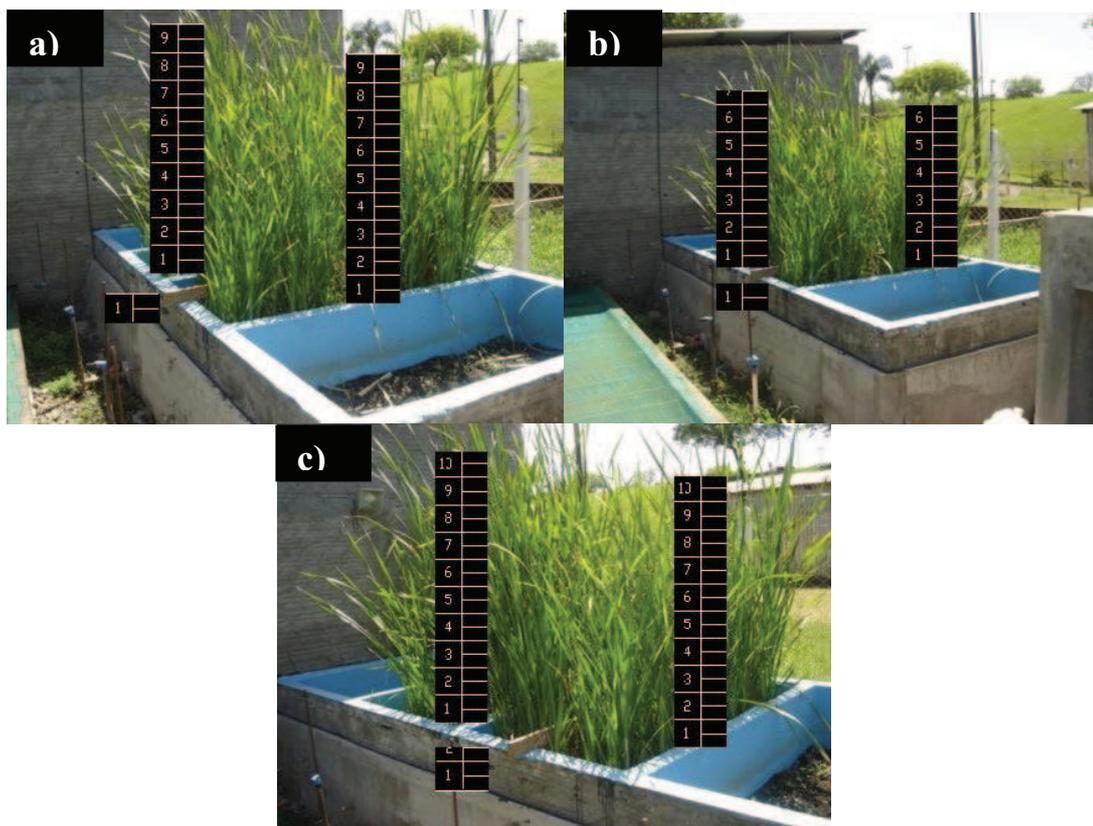
Mosaico fotográfico do dia (06/10/2008) - 0,5% de lixiviado no esgoto



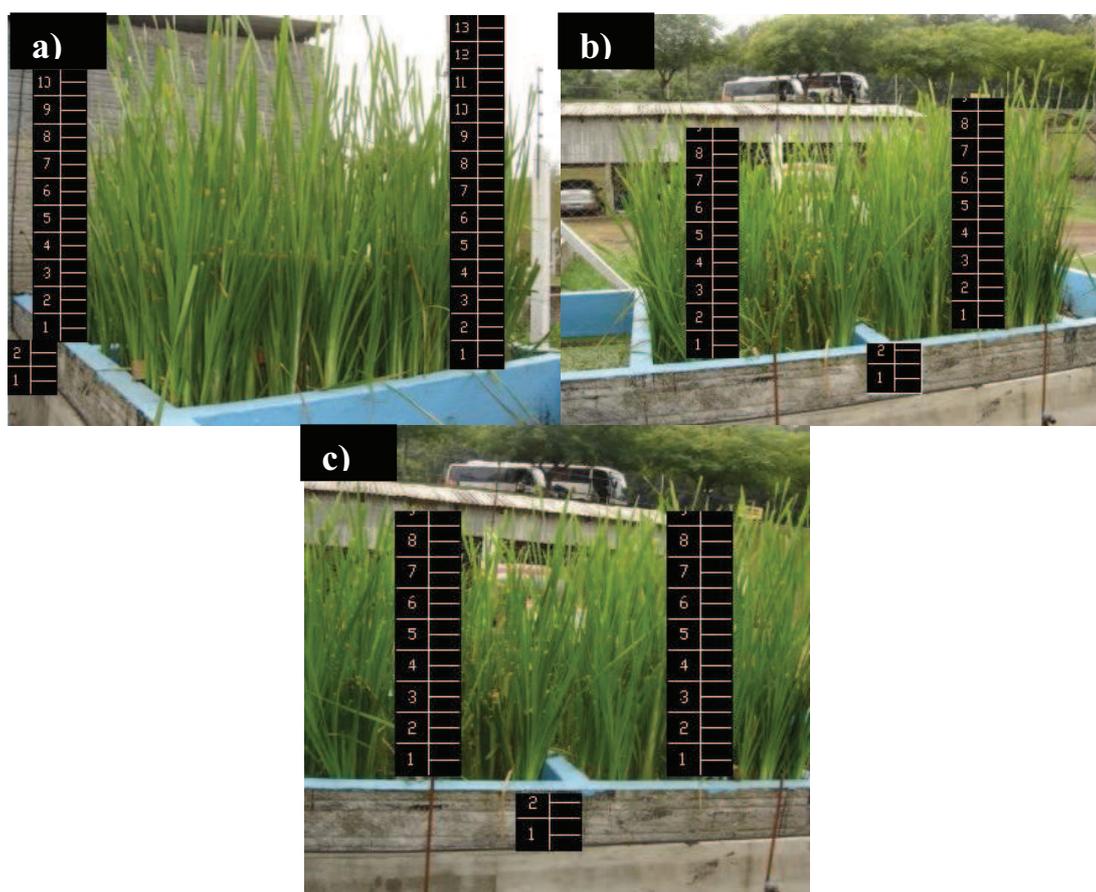
Mosaico fotográfico do dia (14/10/2008) - 0,5% de lixiviado no esgoto



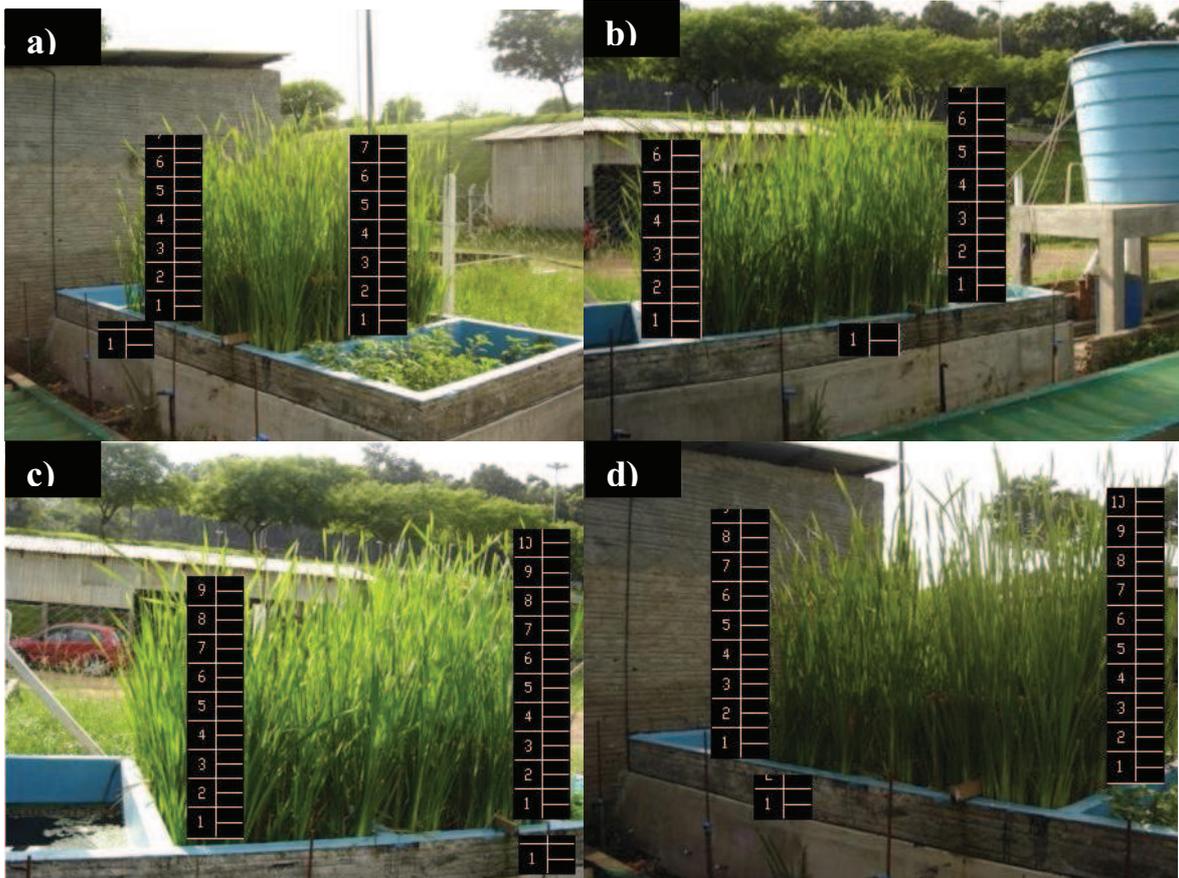
Mosaico fotográfico do dia (03/11/2008) - 0,5% de lixiviado no esgoto



Mosaico fotográfico do dia (17/11/2008) - 1% de lixiviado no esgoto



Mosaico fotográfico do dia (15/12/2008) - 2% de lixiviado no esgoto



Mosaico fotográfico do dia (08/01/2009) - 2% de lixiviado no esgoto

APÊNDICE II – Resultado obtido através da medição das fotos da aclimação das plantas.

	Figura a		Figura b		Figura c	
	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)
	na régua		na régua		na régua	
Marca	2,00	26,00	2,50	26	2,50	26,00
WH	5,25	68,25	7,50	78,00	5,00	52,00
WV	3,50	45,50	6,00	62,40	2,50	26,00
Precisão	0,25	3,25 (12,5%)	0,25	2,6 (10%)	0,25	2,6 (10%)
	Figura d		Figura e		Figura f	
	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)
	na régua		na régua		na régua	
Marca	2,00	26,00	2,00	26,00	2,00	26,00
WH	6,75	87,75	4,50	58,50	6,50	84,50
WV	3,00	39,00	2,25	29,25	3,50	45,50
Precisão	0,25	3,25 (12,5%)	0,25	3,25 (12,5%)	0,25	3,25 (12,5%)

Tamanho das plantas obtido através das fotos do dia 06/out/2008 com 0,5% de lixiviado.

	Figura a		Figura b	
	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)
	na régua		na régua	
Marca	2,00	26,00	2,00	26,00
WH	8,00	104,00	8,75	113,75
WV	6,50	84,50	6,75	87,75
Precisão	0,25	3,25 (12,5%)	0,25	3,25 (12,5%)

Tamanho das plantas obtido através das fotos do dia 14/out/2008 com 0,5% de lixiviado.

	Figura a		Figura b		Figura c	
	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)
	na régua		na régua		na régua	
Marca	0,50	26,00	0,75	26,00	0,75	26,00
WH	3,50	182,00	4,00	138,67	5,00	173,33
WV	2,50	130,00	2,50	86,67	2,75	95,33
Precisão	0,25	13,00 (50%)	0,25	8,67 (33%)	0,25	8,67 (33%)

Tamanho das plantas obtido através das fotos do dia 03/nov/2008 com 0,5% de lixiviado.

	Figura d		Figura e		Figura f	
	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)
	na régua		na régua		na régua	
Marca	1,00	26,00	2,00	26,00	1,00	26,00
WH	7,50	195,00	11,50	149,50	8,50	221,00
WV	6,00	156,00	9,50	123,50	5,00	130,00
Precisão	0,25	6,50 (25%)	0,25	3,25 (12,5%)	0,25	6,50 (25%)

Tamanho das plantas obtido através das fotos do dia 03/nov/2008 com 0,5% de lixiviado.

	Figura a		Figura b		Figura c	
	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)
	na régua		na régua		na régua	
Marca	1	26,00	1	26,00	1,5	26,00
WH	9	234	6,5	169	10	173
WV	9	234	6	156	10	173
Precisão	0,25	6,5 (25%)	0,25	6,5 (25%)	0,25	4,3 (16,7%)

Tamanho das plantas obtido através das fotos do dia 17/nov/2008 com 1% de lixiviado.

	Figura a		Figura b		Figura c	
	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)
	na régua		na régua		na régua	
Marca	2	26,00	1,75	26,00	1,75	26,00
WH	12	156	8,5	126,3	8,5	126,3
WV	13	169	8,5	126,3	8,5	126,3
Precisão	0,25	3,25 (12,5%)	0,25	3,71 (14,3%)	0,25	3,71 (14,3%)

Tamanho das plantas obtido através das fotos do dia 15/dez/2008 com 2% de lixiviado.

	Figura a		Figura b	
	Unidade	Medida (cm)	Unidade	Medida (cm)
	na régua		na régua	
Marca	1,25	26,00	1	26,00
WH	6,5	135,2	6	156
WV	7	145,6	6,5	169
Precisão	0,25	5,2 (20%)	0,25	6,5 (25%)

Tamanho das plantas obtido através das fotos do dia 08/jan/2009 com 2% de lixiviado.

	Figura c		Figura d	
	Unidade na régua	Medida (cm)	Unidade na régua	Medida (cm)
Marca	1,25	26,00	1,25	26,00
WH	9	187,2	8,5	176,8
WV	10	208	10	208
Precisão	0,25	5,2 (20%)	0,25	5,2 (20%)

Tamanho das plantas obtido através das fotos do dia 08/jan/2009 com 2% de lixiviado.

APÊNDICE III – Análise estatística dos resultados obtidos através das fotos da aclimação das plantas.

	Fig. a	Fig. b	Fig. c	Fig. d	Fig. e	Fig. f	Média	Desvio padrão	Unidade
WH	68,25	78,00	52,00	87,75	58,50	84,50	72	14	cm
WV	45,50	62,40	26,00	39,00	29,25	45,50	41	13	cm
Precisão	12,50	10,00	10,00	12,50	12,50	12,50	12	1	%
	3,25	2,60	2,60	3,25	3,25	3,25	3	0	cm

Análise estatística do tamanho das plantas obtido dia 06/out/2008.

	Fig. a	Fig. b	Média	Desvio padrão	Unidade
WH	104,00	113,75	109	7	cm
WV	84,50	87,75	86	2	cm
Precisão	12,50	12,50	13	0	%
	3,25	3,25	3	0	cm

Análise estatística do tamanho das plantas obtido dia 14/out/2008.

	Fig. a	Fig. b	Fig. c	Fig. d	Fig. e	Fig. f	Média	Desvio padrão	Unidade
WH	182,00	138,67	173,33	195,00	149,50	221,00	177	30	cm
WV	130,00	86,67	95,33	156,00	123,50	130,00	120	25	cm
Precisão	13,00	8,67	8,67	6,50	3,25	6,50	7	2	%
	50,00	33,30	33,30	25,00	12,50	25,00	30	12	cm

Análise estatística do tamanho das plantas obtido dia 03/nov/2008.

	Fig. a	Fig. b	Fig. c	Média	Desvio padrão	Unidade
WH	234,00	169,00	173,00	192	36	cm
WV	234,00	156,00	173,00	188	41	cm
Precisão	25,00	25,00	4,30	18	12	%
	6,50	6,50	16,70	10	6	cm

Análise estatística do tamanho das plantas obtido dia 17/nov/2008.

	Fig. a	Fig. b	Fig. c	Média	Desvio padrão	Unidade
WH	156,00	126,30	126,30	136	17	cm
WV	169,00	126,30	126,30	141	25	cm
Precisão	12,50	14,30	14,30	14	1	%
	3,25	3,71	3,71	4	0	cm

Análise estatística do tamanho das plantas obtido dia 15/dez/2008.

	Fig. a	Fig. b	Fig. c	Fig. d	Média	Desvio padrão	Unidade
WH	135,20	156,00	187,20	176,80	164	23	cm
WV	145,60	169,00	208,00	208,00	183	31	cm
Precisão	20,00	25,00	20,00	20,00	21	3	%
	5,20	6,50	5,20	5,20	6	1	cm

Análise estatística do tamanho das plantas obtido dia 08/jan/2009.

APÊNDICE IV – Monitoramento do pH do primeiro e segundo plantios

	Data	WH0	WH	WV	Mistura	Lixiviado	Esgoto
8,0%	9/2/2009	7,0	6,4	6,4	7,7	9,5	6,9
	16/2/2009	7,1	6,4	6,4	7,7	9,6	6,9
	2/3/2009	7,4	6,4	6,3	6,8	8,5	6,6
	9/3/2009	7,2	6,4	6,6	7,9	8,5	7,5
	16/3/2009	7,4	6,3	6,5	7,6	8,8	7,0
16,0%	23/3/2009	7,5	6,6	6,5	8,5	9,0	8,4
	30/3/2009	7,7	6,7	6,6	8,0	9,3	6,8
	6/4/2009	7,8	6,8	6,6	8,0	8,4	6,8
	13/4/2009	7,9	7,0	6,9	8,1	8,5	6,9
	20/4/2009	8,0	7,1	6,8	8,3	8,6	7,1
	27/4/2009	8,1	7,0	6,7	8,1	8,6	7,0
64,0%	4/5/2009	8,0	7,1	6,8	8,4	8,5	7,1
	11/5/2009	8,3	7,4	7,4	8,4	8,5	7,0
	18/5/2009	8,3	7,5	7,5	8,5	8,5	7,1
	25/5/2009	8,4	7,5	7,3	8,4	8,4	8,4
100,0%	1/6/2009	8,5	7,7	8,0	8,6	8,6	-
	10/6/2009	8,5	8,1	8,2	8,5	8,5	-
	18/6/2009	8,4	8,1	8,2	8,4	8,4	-
	25/6/2009	8,4	8,2	8,2	8,4	8,4	-
	2/7/2009	8,4	8,1	8,2	8,4	8,4	-
	9/7/2009	8,4	8,3	8,2	8,4	8,4	-
	15/7/2009	8,4	8,2	8,3	8,4	8,4	-
	22/7/2009	8,3	8,2	8,2	8,4	8,4	-

Monitoramento do pH do primeiro plantio

	Data	WH0	WH	WV	Mistura	Lixiviado	Esgoto
	22/10/2009	7,3	7,4	7,9	7,8	8,4	7,4
8%	29/10/2009	7,2	7,9	7,4	7,7	8,8	6,8
	5/11/2009	6,7	7,2	7,9	7,6	8,0	7,0
	12/11/2009	7,4	7,3	7,7	7,6	8,2	6,9
	19/11/2009	6,7	7,1	7,4	7,8	8,3	6,8
	26/11/2009	7,0	7,0	7,5	7,8	8,8	6,7
	4/12/2009	7,1	6,9	7,8	7,7	8,1	6,9
16%	10/12/2009	7,2	6,8	7,7	7,3	8,4	5,7
	7/1/2010	6,9	6,9	7,5	8,2	8,2	7,0
	14/1/2010	7,3	7,2	8,0	8,4	8,4	6,8
64%	21/1/2010	7,6	7,4	7,9	8,2	8,4	6,8
	28/1/2010	7,3	7,3	7,9	8,4	8,4	-
	4/2/2010	7,3	7,3	8,1	9,4	9,4	-
	11/2/2010	7,3	7,2	8,0	8,4	8,4	-
	18/2/2010	7,6	7,2	8,1	8,4	8,4	-
100%	25/2/2010	7,4	7,2	8,2	8,4	8,4	-

Monitoramento do pH do segundo plantio

APÊNDICE V – Análise estatística

	% n	Mínimo		Máximo		Média		D. padrão		Variância		Remoção		Rem. (%)
		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Saída	Saída	
WHO	Primeiro plântio	8%	166,0	36,0	325,0	101,0	261,9	65,3	50,7	26,7	2573,7	710,2	196,6	75,1
		16%	414,0	126,0	814,0	280,0	570,3	193,8	115,5	49,2	13341,2	2418,7	376,5	66,0
		64%	1202,0	283,0	2015,0	945,0	1550,5	691,0	266,2	266,3	70843,7	70890,9	859,5	55,4
		100%	1932,0	1423,0	2995,0	2278,0	2434,1	1935,3	318,2	272,7	101234,8	74358,5	498,8	20,5
	Segundo plântio	8%	226,0	119,0	346,0	159,0	287,8	143,3	67,3	19,5	4532,3	378,9	144,5	50,2
		16%	134,0	128,0	1374,0	278,0	633,6	192,2	484,6	46,9	234790,0	2200,5	441,5	69,7
		64%	1348,0	104,0	1457,0	579,0	1411,7	319,8	50,8	249,1	2577,9	62048,9	1091,9	77,4
		100%	978,0	457,0	1830,0	1735,0	1495,0	1130,3	295,9	384,9	87580,2	148168,5	364,7	24,4
WH	Primeiro plântio	8%	166,0	76,0	325,0	104,0	261,9	92,0	50,7	9,7	2573,7	94,2	169,9	64,9
		16%	414,0	108,0	814,0	325,0	570,3	226,9	115,5	77,0	13341,2	5936,6	343,4	60,2
		64%	1202,0	367,0	2015,0	1039,0	1550,5	754,6	266,2	269,6	70843,7	72684,0	795,9	51,3
		100%	1932,0	1360,0	2995,0	2164,0	2434,1	1806,3	318,2	272,6	101234,8	74300,0	627,8	25,8
	Segundo plântio	8%	226,0	138,0	346,0	145,0	287,8	141,5	67,3	3,1	4532,3	9,7	146,3	50,8
		16%	134,0	138,0	1374,0	268,0	633,6	177,3	484,6	41,7	234790,0	1740,0	456,4	72,0
		64%	1348,0	150,0	1457,0	572,0	1411,7	337,0	50,8	216,5	2577,9	46881,3	1074,7	76,1
		100%	978,0	434,0	1830,0	1424,0	1495,0	802,8	295,9	342,2	87580,2	117125,9	692,2	46,3
WV	Primeiro plântio	8%	166,0	84,0	325,0	122,0	261,9	102,7	50,7	11,4	2573,7	129,3	159,2	60,8
		16%	414,0	131,0	814,0	392,0	570,3	249,8	115,5	96,0	13341,2	9213,2	320,5	56,2
		64%	1202,0	419,0	2015,0	1113,0	1550,5	804,1	266,2	241,6	70843,7	58364,4	746,4	48,1
		100%	1932,0	1679,0	2995,0	2692,0	2434,1	1992,1	318,2	267,9	101234,8	71774,3	442,1	18,2
	Segundo plântio	8%	226,0	157,0	346,0	171,0	287,8	163,5	67,3	5,8	4532,3	33,7	124,3	43,2
		16%	134,0	138,0	1374,0	339,0	633,6	217,3	484,6	66,2	234790,0	4382,1	416,3	65,7
		64%	1348,0	276,0	1457,0	605,0	1411,7	475,3	50,8	159,0	2577,9	25292,9	936,4	66,3
		100%	978,0	385,0	1830,0	1294,0	1495,0	998,9	295,9	280,8	87580,2	78870,4	496,1	33,2

	% n	Mínimo		Máximo		Média		D. padrão		Variância		Remoção		
		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Saída	Saída	
WHO NA (mg/L)	Primeiro plântio	8% 5	43,7	24,2	76,2	46,2	58,8	35,2	14,4	12,7	207,6	161,3	23,6	40,1
		16% 6	19,1	32,0	93,3	47,4	65,2	39,8	29,4	4,9	861,6	24,3	25,3	38,9
		64% 4	213,4	101,3	383,4	164,2	296,2	143,0	64,3	28,5	4135,6	814,4	153,2	51,7
		100% 8	415,1	326,0	500,4	453,8	464,8	413,0	23,0	40,9	528,1	1671,8	51,8	11,1
	Segundo plântio	8% 2	68,1	34,5	71,5	51,6	69,5	42,9	1,7	9,3	2,8	87,3	26,6	38,3
		16% 6	50,3	26,7	99,5	57,8	79,6	34,3	17,0	11,3	287,6	128,7	45,3	56,9
		64% 3	99,5	35,7	111,9	93,2	104,1	71,0	5,5	27,0	29,9	727,2	33,2	31,9
		100% 5	139,9	82,4	197,4	157,0	171,0	126,5	25,5	26,6	652,2	709,8	44,5	26,0
WH NA (mg/L)	Primeiro plântio	8% 5	43,7	24,2	76,2	27,1	58,8	25,7	14,4	1,4	207,6	2,0	33,1	56,4
		16% 6	19,1	19,8	93,3	53,7	65,2	35,2	29,4	15,5	861,6	240,1	29,9	45,9
		64% 4	213,4	131,8	383,4	206,4	296,2	169,8	64,3	31,8	4135,6	1008,4	126,4	42,7
		100% 8	415,1	288,4	500,4	463,1	464,8	402,3	23,0	54,5	528,1	2966,2	62,5	13,4
	Segundo plântio	8% 2	68,1	29,2	71,5	44,4	69,5	37,1	1,7	8,3	2,8	69,4	32,4	46,7
		16% 6	50,3	45,4	99,5	71,5	79,6	60,9	17,0	8,8	287,6	77,2	18,8	23,6
		64% 3	99,5	42,9	111,9	90,1	104,1	72,6	5,5	23,1	29,9	534,2	31,6	30,3
		100% 5	139,9	88,6	197,4	153,8	171,0	114,4	25,5	22,3	652,2	499,5	56,6	33,1
WV NA (mg/L)	Primeiro plântio	8% 5	43,7	23,5	76,2	42,5	58,8	32,8	14,4	10,8	207,6	116,0	26,0	44,2
		16% 6	19,1	24,7	93,3	44,7	65,2	35,8	29,4	8,0	861,6	64,4	29,3	45,0
		64% 4	213,4	163,0	383,4	171,2	296,2	167,7	64,3	4,0	4135,6	16,3	128,5	43,4
		100% 8	415,1	347,1	500,4	428,9	464,8	404,9	23,0	26,6	528,1	708,2	59,8	12,9
	Segundo plântio	8% 2	68,1	50,0	71,5	52,2	69,5	51,1	1,7	1,3	2,8	1,6	18,4	26,4
		16% 6	50,3	57,8	99,5	79,3	79,6	67,6	17,0	7,7	287,6	59,0	12,0	15,1
		64% 3	99,5	80,8	111,9	96,3	104,1	87,9	5,5	8,0	29,9	63,8	16,2	15,6
		100% 5	139,9	68,4	197,4	153,8	171,0	128,3	25,5	31,6	652,2	998,6	42,6	24,9

	% n	Mínimo		Máximo		Média		D. padrão		Variância		Remoção		
		Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Saída	Saída	
WHO	Fósforo (mg/L)	8% 5	1,6	0,5	5,0	3,4	3,6	1,4	1,2	1,0	1,4	1,0	2,2	61,4
		16% 6	5,2	2,7	11,6	9,0	8,4	8,4	2,2	2,2	4,8	4,9	3,0	36,2
		64% 4	10,9	8,0	23,9	19,7	16,7	16,7	5,5	4,3	30,0	18,5	2,5	15,0
		100% 8	14,2	10,8	19,4	14,7	16,0	16,0	1,3	1,2	1,6	1,5	2,4	15,0
	Segundo plantio	8% 2	3,6	2,9	4,8	3,9	4,4	4,4	0,5	0,5	0,3	0,2	1,0	21,7
		16% 6	3,4	3,5	8,1	6,1	5,3	5,3	1,8	0,7	3,4	0,4	1,1	19,9
		64% 3	3,2	2,7	18,5	4,8	9,7	9,7	6,6	0,7	43,8	0,5	5,8	59,7
		100% 5	3,1	3,5	18,1	12,9	10,4	10,4	5,0	3,0	25,0	8,7	2,7	25,9
WH	Fósforo (mg/L)	8% 5	1,6	0,2	5,0	2,8	3,6	1,2	1,2	1,0	1,4	0,9	2,4	67,2
		16% 6	5,2	1,5	11,6	10,3	8,4	8,4	2,2	3,0	4,8	9,2	3,5	41,2
		64% 4	10,9	9,0	23,9	12,0	16,7	16,7	5,5	1,1	30,0	1,3	6,6	39,5
		100% 8	14,2	11,6	19,4	16,5	16,0	16,0	1,3	1,4	1,6	2,1	2,5	15,4
	Segundo plantio	8% 2	3,6	2,7	4,8	3,6	4,4	4,4	0,5	0,4	0,3	0,2	1,1	25,1
		16% 6	3,4	3,1	8,1	5,0	5,3	5,3	1,8	0,7	3,4	0,4	1,1	21,0
		64% 3	3,2	2,6	18,5	4,9	9,7	9,7	6,6	0,8	43,8	0,7	5,7	58,6
		100% 5	3,1	4,3	18,1	11,5	10,4	10,4	5,0	3,0	25,0	9,1	3,5	33,5
WV	Fósforo (mg/L)	8% 5	1,6	0,1	5,0	3,8	3,6	1,6	1,2	1,3	1,4	1,7	2,0	55,1
		16% 6	5,2	2,0	11,6	13,2	8,4	8,4	5,7	2,2	4,8	14,1	2,7	32,0
		64% 4	10,9	6,4	23,9	12,6	16,7	16,7	9,8	2,3	30,0	5,1	6,9	41,4
		100% 8	14,2	8,9	19,4	17,4	16,0	16,0	1,3	2,2	1,6	5,0	2,6	16,1
	Segundo plantio	8% 2	3,6	4,1	4,8	4,6	4,4	4,4	0,5	0,2	0,3	0,0	0,03	0,6
		16% 6	3,4	3,7	8,1	5,2	5,3	5,3	1,8	0,5	3,4	0,3	0,9	17,1
		64% 3	3,2	3,5	18,5	7,3	9,7	9,7	6,6	1,6	43,8	2,6	4,4	45,2
		100% 5	3,1	4,4	18,1	15,4	10,4	10,4	5,0	3,7	25,0	13,5	0,6	5,6

