



II-121 - TRATAMENTO DE EFLUENTE DE CAMPUS UNIVERSITÁRIO VIA SISTEMA DE BAIXO CUSTO COM LEITOS CULTIVADOS (*Wetland*)

Ênio Leandro Machado⁽¹⁾

Químico Industrial, Doutor em Engenharia (UFRGS). Professor Adjunto do Departamento de Química e Física - UNISC

Diosnel Antonio Rodriguez Lopez

Engenheiro de Minas, Doutor em Engenharia (Tu-Berlim). Professor Adjunto do Departamento de Engenharia, Arquitetura e Ciências Agrárias - UNISC

Leonardo Medeiros Benvegnu

Acadêmico do Curso de Engenharia Ambiental - UNISC

Filipe Vargas Zerwes

Engenheiro Ambiental. Pesquisador do Grupo de Ciência e Tecnologia Ambiental-UNISC

Núbia Cristina Weber Freitas

Bióloga, Mestre em Tecnologia Ambiental – UNISC

Endereço⁽¹⁾: Avenida Independência, 2293 – Bairro Universitário – Santa Cruz do Sul - RS – CEP: 96815-900 – Brasil – Tel.: (51)3717-7545

RESUMO

O presente trabalho avaliou o tratamento biológico em efluentes secundários de campus universitário com leitos cultivados (*Wetland*), de fluxos sub-superficiais em regime misto ascendente e descendente. Os efluentes secundários foram gerados a partir de reator UASB, em um sistema controlado, na Estação de Tratamento de Efluentes da UNISC - Universidade de Santa Cruz do Sul, na Cidade de Santa Cruz do Sul/RS – Brasil. Foi verificada a eficiência dos leitos cultivados quanto ao cultivo de Capim elefante (*Pennisetum purpureum*), no período de abril de 2007 a agosto de 2007, e a macrófita aquática Espadana (*Zizaniopsis bonariensis*), no período de setembro de 2007 a janeiro de 2008. Foram avaliados os valores de DQO, COT, DBO, OD, SST, Turbidez, Fósforo Total, Coliformes termotolerantes, NTK, NH_4^+ , NO_3^- , condutividade, pH e temperatura, comparando as concentrações citadas do efluente da saída do decantador secundário com os efluentes dos leitos cultivados. Todos os parâmetros caracterizados foram analisados por meio de uma sonda multiparâmetros IQ SensorNet da WTW. A caracterização demonstrou concentração de DQO inferior a 400 mg L⁻¹ e altos valores de nitrogênio amoniacal (70-500 mg L⁻¹), configurando-se o principal problema de impacto ambiental nos efluentes estudados de acordo com a resolução 128/06. O Capim elefante (*Pennisetum purpureum*) sofreu danos foliares devido a baixas temperaturas no mês de julho, não sendo possível quantificar a massa seca. A macrófita aquática Espadana (*Zizaniopsis bonariensis*), demonstrou maior adaptação ao sistema, destacando-se no primeiro leito cultivado de fluxo ascendente, caracterizado por superfície encharcada. Totalizou 0,276 kg (leito cultivado 1) e 0,222 kg (leito cultivado 2) de massa seca em 1,76 m² de área superficial nos respectivos leitos cultivados. Na fase Capim elefante (*Pennisetum purpureum*), obteve-se 81% de redução de DQO e 50% de NH_4^+ na seqüência dos leitos cultivados 1 e 2. A conversão para nitrogênio nitrato ocorreu principalmente no leito cultivado de fluxo descendente. A Espadana (*Zizaniopsis bonariensis*) mostrou maior adaptação para as variações de temperatura e no leito de fluxo ascendente (regime alagado). Os valores de reduções seqüenciais para este caso foram de 26% de DQO e 50% NH_4^+ . Menores cargas volumétricas são necessárias para adequações dos valores finais de nitrogênio amoniacal e nitrato. No entanto, o reúso dos efluentes finais para fertirrigação também aparecem como potencial.

PALAVRAS-CHAVE: Leitos Cultivados, *Pennisetum purpureum*, *Zizaniopsis bonariensis*

INTRODUÇÃO

As macrófitas aquáticas emergentes são as mais adequadas para cultivo em *wetlands*. Dentre elas as mais utilizadas são a *Zizaniopsis bonariensis*, o *Phragmites* sp. e a *Scirpus* sp. As macrófitas aquáticas devem desempenhar os seguintes papéis na remoção de poluentes: facilitar a transferência de gases (O_2 , CH_4 , CO_2 , N_2O e H_2S) do sistema; estabilizar a superfície do leito pela formação de denso sistema radicular, protegendo o sistema do processo erosivo e impedindo a formação de canais de escoamento preferencial na superfície do *wetland*; absorver macronutrientes (N e P) e micronutrientes (incluindo metais); suprir, com subprodutos da



decomposição de plantas e exsudados das raízes, carbono biodegradável para possibilitar a ocorrência do processo de denitrificação; atuar como isolante térmico nas regiões de clima temperado; proporcionar habitat para vida selvagem e agradável aspecto estético (Brix 1994 a 1997), Reed *et al.* (1995) e Tanner (2001).

A recuperação ou tratamento de águas residuárias de origem doméstica por *wetlands* cultivados indicam resultados satisfatórios na remoção de carga poluidora presente no efluente. As águas residuárias tratadas em *wetlands* podem ser utilizadas na fertirrigação, apresentando-se como uma alternativa em potencial no consumo de um grande volume de efluente. A fertirrigação é realizada em atividades florestais e agrícolas. O uso de esgotos sanitários em irrigação, tratados ou não, é uma prática antiga em países como Austrália, Israel, Estados Unidos, México e Peru. No Brasil o reuso de águas servidas é pequena, mas registram-se vários exemplos de utilização de esgotos sanitários em irrigação, em geral, de forma espontânea e não controlada (MARQUES *et al.*, 1999).

Este trabalho teve como objetivo avaliar a aplicação de leitos cultivados (*wetlands*) construídos no tratamento de efluentes (águas negras) de campus universitário na etapa pós-anaerobiose, visando especialmente remoção de carga poluente em termos de DQO e nitrogênio amoniacal.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os efluentes estudados foram coletados na saída do decantador secundário, pós reator UASB, saídas e entradas dos *wetlands* construídos em duplo estágio de fluxo alternado. As amostras coletadas dispensaram procedimentos de preservação, devido ao encaminhamento sequencial para determinações analíticas e ensaios de tratamento.

Os parâmetros analíticos caracterizados incluíram inicialmente: COT; DQOt; DQOd; DBO; SST, Turbidez; $\text{NH}_4\text{-N}$; NH_4 ; $\text{NO}_3\text{-N}$; NO_3 ; pH e Temperatura. Adicionalmente foram caracterizados nos efluentes brutos (ETE/UNISC) e tratados os parâmetros condutividade, fósforo total, nitrogênio total Kjeldahal e coliformes termotolerantes. A caracterização da biomassa foi realizada a partir da determinação da coleta da biomassa a uma altura de 0,10m acima da superfície do meio suporte em amostras de áreas com $0,5\text{m}^2$ na parte inicial, média e final de cada leito cultivado. A massa verde foi encaminhada para pesagem e, após, submetida a 70°C em estufa bacteriológica até atingir massa seca com peso constante. Os leitos cultivados construídos foram projetados para trabalhar em condições anaeróbias, aeróbias e anóxicas, o que favorece a remoção de nutrientes. O tempo de detenção hidráulica para os leitos foi de 32 horas.

Os ensaios de tratamento foram feitos considerando-se dois experimentos distintos com as duas espécies de macrófitas selecionadas e para tempos mínimos de cultivo de quatro meses. Quinzenalmente o controle analítico do efluente de entrada e saída dos leitos cultivados foi realizado na primeira etapa de estudos. A partir das melhorias de pontos de amostragem na unidade piloto evoluiu-se para um controle analítico semanal. Os ensaios de tratamento do efluente foram realizados no Laboratório do Campus da UNISC. O efluente bruto foi coletado diretamente do tanque de equalização da ETE da Universidade, sendo armazenado no tanque pulmão da ETE piloto (Figura 1).

A aplicação do esgoto primário foi feita de forma contínua na superfície dos módulos, uma vez a cada dois dias, no turno da manhã. Considerando-se uma contribuição média de 130 litros diários de esgoto por habitante (NBR 7229/93) - da ABNT, simulou-se uma vazão média de 35 L h^{-1} . O tempo de detenção hidráulico – TDH, do esgoto na unidade UASB foi de 38 horas.

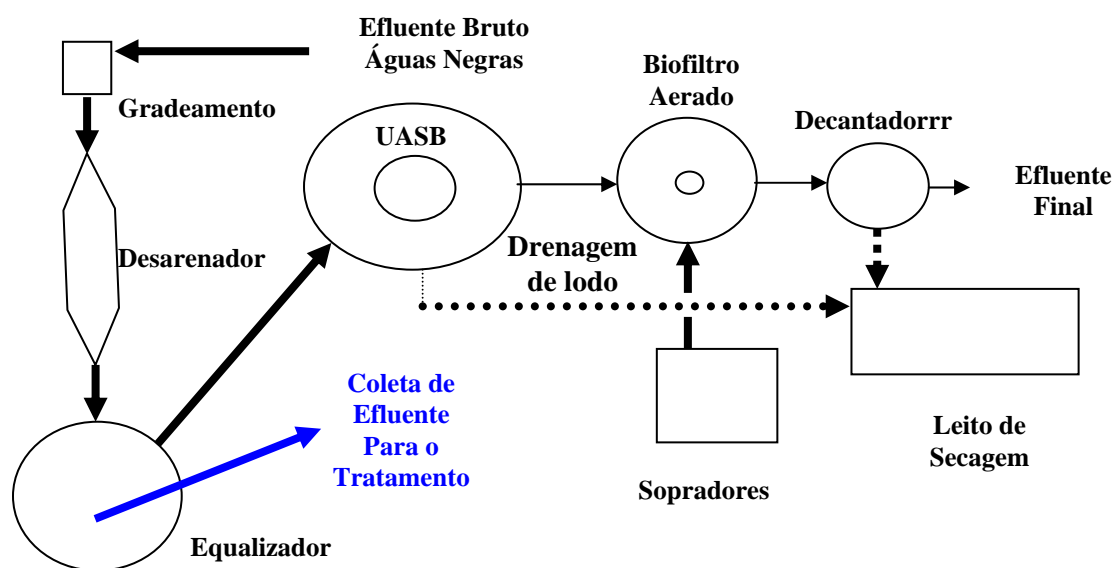


Figura 1: Esquema geral da unidade de tratamento de efluentes da UNISC

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características Analíticas do Efluente Estudado e da Fonte Geradora

A geração de efluentes no campus da UNISC associa-se ao uso intensivo dos sanitários, em especial dos mictórios. Este fato potencializa a geração de efluentes com carga de compostos nitrogenados mais elevados do que a dos esgotos urbanos. Na Figura 10 está representada o fluxograma da ETE-UNISC, onde se observa o tanque equalizador onde foram coletados os efluentes para o tratamento com o sistema UASB + Leitos Cultivados (*Wetlands*).

A ETE-UNISC foi dimensionada para um equivalente populacional de aproximadamente 18.000 pessoas, sendo que as vazões médias ($\text{m}^3 \text{dia}^{-1}$) registradas possuem oscilações entre 2 e $10 \text{ m}^3 \text{dia}^{-1}$, o que acaba proporcionando tempos de detenção hidráulica entre 10 e 50 horas no tanque equalizador. Desta forma, pode-se considerar o início de atividade anaeróbia de forma mais expressiva nesta etapa.

A rede hidrosanitária construída para abastecimento da ETE não possui estações de recalque e todos os tanques sépticos e filtros anaeróbios anteriormente existentes foram isolados. Exclusivamente, os efluentes dos mictórios e vasos sanitários são drenados para esta rede.

A caracterização analítica dos efluentes foi iniciada a partir das determinações de padrões gerais apresentados na Tabela 1. As determinações dos efluentes do tanque equalizador foram restringidas posteriormente para o monitoramento do reservatório da unidade experimental em escala piloto, no sentido de determinar a eficiência de redução dos parâmetros poluentes críticos.



Tabela 1: Dados de caracterização do efluente do tanque equalizador.

Parâmetro	Valores Medidos	Resolução Conesma/RS 128/2006
DQO _i (mg L ⁻¹)	169,39	≤ 400
DQO _d (mg L ⁻¹)	73,59	-
DBO (mg L ⁻¹)	147,40	≤ 180
COT (mg L ⁻¹)	389,50	-
SST (mg L ⁻¹)	78,30	≤ 180
TURB (UT)	89,00	-
NH ₄ -N (mg L ⁻¹)	56,45	≤ 20
NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	70,70	-
NO ₃ -N (mg L ⁻¹)	0,33	-
Fósforo Total * (mg L ⁻¹)	7,17	-
Coliformes Termotolerantes * (NMP/100 mL)	1,6 x 10 ⁶	-
NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	2,45	-
NTK (mg L ⁻¹)	52,1	≤ 20
Temperatura (°C)	15,6	≤ 40

* Não há limites máximos estabelecidos pela legislação estadual para uma vazão máxima de lançamento de até 200 m³ dia⁻¹.

Conforme comparativo da carga do efluente bruto com os valores máximos permitidos pela Resolução Conesma 128/2006, observou-se que os níveis mais controlados de lançamento se concentram na DQO, DBO₅, nitrogênio total, nitrogênio amoniacal e sólidos suspensos. Assim sendo, foram consideradas para planta piloto otimizações de tratamento dos parâmetros anteriormente descritos, o que também se relacionou com a limitação das determinações da sonda multiparâmetros empregada, pois considera-se que limites para coliformes termotolerantes e fósforo total também devem merecer investigações de estudo.

A Tabela 1 permite reforçar a partir dos estudos iniciais, a principal característica de impacto dos efluentes do campus universitário estudado, ou seja, a emissão de nitrogênio amoniacal que se relaciona a ação eutrofizante. Conforme apresentado em Brasil et al (2007) a alta concentração de constituintes (eutrofização) no esgoto doméstico provocou secamento na ponta das folhas de *Zizaniopsis bonariensis*, no estudo de plantio e desenvolvimento fenológico da Espadana (*Zizaniopsis bonariensis*), utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído.

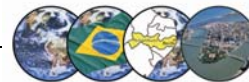
A caracterização demonstrou concentração de DQO inferior a 400 mg L⁻¹ e altos valores de nitrogênio amoniacal (70-500 mg L⁻¹), configurando-se o principal problema de impacto ambiental nos efluentes estudados de acordo com a resolução 128/06. O Capim elefante (*Pennisetum purpureum*) sofreu danos foliares devido a baixas temperaturas no mês de julho, não sendo possível quantificar a massa seca.

A macrófita aquática Espadana (*Zizaniopsis bonariensis*), demonstrou maior adaptação ao sistema, destacando-se no primeiro leito cultivado de fluxo ascendente, caracterizado por superfície encharcada. Totalizou 0,276 kg (leito cultivado 1) e 0,222 kg (leito cultivado 2) de massa seca em 1,76 m² de área superficial nos respectivos leitos cultivados. Na fase Capim elefante (*Pennisetum purpureum*), obteve-se 81% de redução de DQO e 50% de NH₄⁺ na sequência dos leitos cultivados 1 e 2. A conversão para nitrogênio nitrato ocorreu principalmente no leito cultivado de fluxo descendente. A Espadana (*Zizaniopsis bonariensis*) mostrou maior adaptação para as variações de temperatura e no leito de fluxo ascendente (regime alagado). Os valores de reduções sequenciais para este caso foram de 26% de DQO e 50% de NH₄⁺. Menores cargas volumétricas são necessárias para adequações dos valores finais de nitrogênio amoniacal e nitrato. No entanto, o reúso dos efluentes finais para fertirrigação também aparecem como potencial.

A Tabela 2 apresenta um resumo dos valores de operação dos leitos cultivados.

Tabela 2: Cargas médias aplicadas no período experimental com a *Zizaniopsis bonariensis*.

Parâmetros	Valores
DQO (g m ⁻² dia ⁻¹)	91,45
DBO (g m ⁻² dia ⁻¹)	79,60
NTK (g m ⁻² dia ⁻¹)	28,13
NH ₄ ⁺ (g m ⁻² dia ⁻¹)	38,18



Os valores da Tabela 2 revelam cargas médias elevadas de aplicação quando comparados a outros dados da literatura. Mannarino *et al.* (2006) desenvolveu estudos com cargas de DQO entre 2,96 e 7,57g m⁻².dia⁻¹, DBO entre 0,19 e 0,31g m⁻².dia⁻¹ e nitrogênio amoniacal entre 0,97 e 2,07g N-NH₄⁺.m⁻².dia⁻¹. A eficiência de remoção da carga poluente verificada neste trabalho foi de 10% para DQO, 17% para DBO e 17% para N-NH₄⁺ (TDH de 2 dias).

A utilização da Espadana nos leitos cultivados construídos estabelece testes com os resultados de saneamento (Figuras 2 e 3).

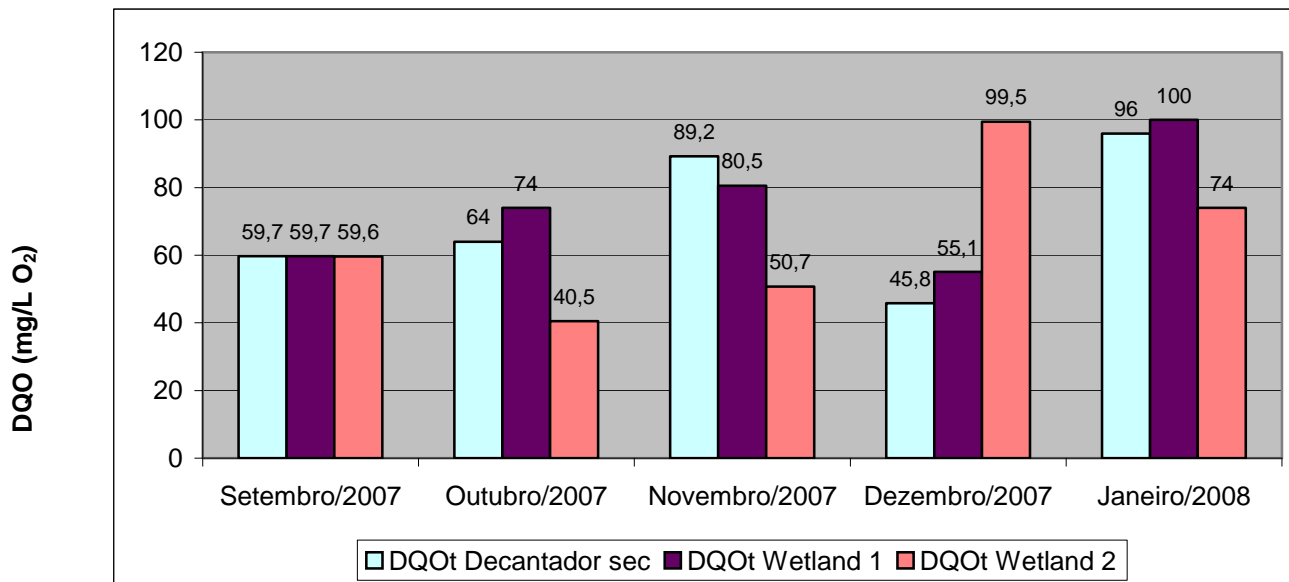


Figura 2: Variação das concentrações de material carbonáceo nas etapas de fitorremediação com Espadana.

A partir de setembro de 2007, e, portanto em período sazonal mais adequado para o crescimento vegetal, foram observados às reduções de DQO na seqüência das etapas de decantação e fitorremediação. A exceção ocorre para os meses de setembro, provavelmente devido ao não desenvolvimento do sistema radicular. Já para outubro não se tem explicação para o crescimento da DQOt, configurando-se como anormalidade.

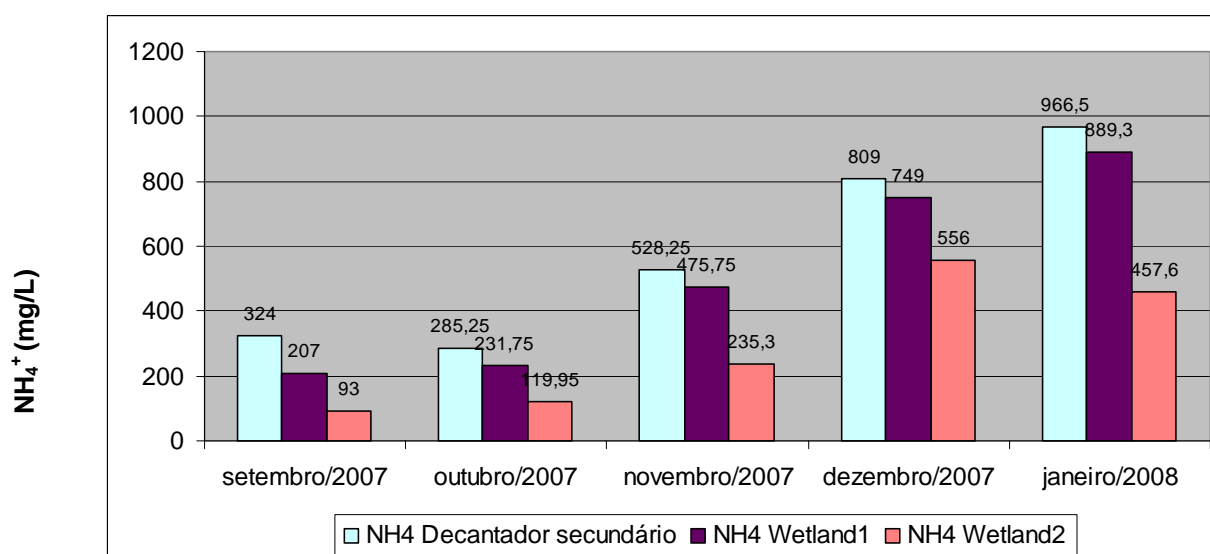


Figura 3: Variação das concentrações de nitrogênio amoniacal nas etapas de fitorremediação com Espadana.



Os maiores valores de DQO e nitrogênio amoniacal observados são atribuídos a problemas operacionais da ETE-UNISC, pois ocorreram desvios do abastecimento da ETE e o tempo de detenção hidráulico no tanque equalizador promoveu anaerobiose em maior atividade. Em estudos anteriores publicados por Voese (2008), o desempenho do sistema integrado UASB + Leitos cultivados demonstrou a elevação dos valores de nitrogênio amoniacal a partir de novembro de 2007 para $500 \text{ mg L}^{-1} \text{ NH}_4^+$ e $799 \text{ mg L}^{-1} \text{ NH}_4$ em dezembro de 2007.

A macrófita utilizada na segunda fase Espadana (*Zizaniopsis bonariensis*) apresentou bom desenvolvimento, destacando-se no primeiro leito cultivado que possui fluxo ascendente propiciando superfície alagada (Tabela 3). A quantificação da massa seca foi realizada no final da segunda fase (10/01/08), onde se realizou a remoção da biomassa com corte raso (altura=0,10m) de toda a vegetação. Esse processo resultou uma produção de biomassa de 0,245 kg de matéria seca no primeiro leito cultivado e 0,222 kg no segundo leito cultivado, para os $1,68 \text{ m}^2$ de área superficial de cada leito.

Tabela 3: Profundidade máxima atingida pelas raízes da Espadana durante o período de operação dos leitos cultivados.

Posição no Leito	Comprimento das Raízes (m)	
	Wetland 1	Wetland 2
Início	0,27	0,26
Meio	0,30	0,24
Fim	0,26	0,25
Média	0,28	0,25

A Tabela 3 demonstra a profundidade de raízes da espécie Espadana (*Zizaniopsis bonariensis*) obtida nesta pesquisa no primeiro leito cultivado (0,30 m) confirmou o valor reportado por Reed *et al.* (1995) como máximo para a espécie.

CONCLUSÕES

As caracterizações analíticas dos efluentes geradas no campus universitário permitiram observar que o parâmetro mais crítico quanto à carga poluente está relacionado com o nitrogênio amoniacal. Valores de $54 \text{ mg L}^{-1} \text{ NH}_4^+$ revelam superioridade ao limite de 20 mg L^{-1} estabelecido na resolução do CONSEMA 128/06. As cargas amoniacaais subiram a valores superiores a 400 mg L^{-1} nos períodos de férias escolares e também devido as paradas operacionais da ETE. Isto configura que o efluente tem forte contribuição do uso dos mictórios, tornando-os diferenciados quanto ao perfil dos esgotos urbanos.

Apesar da obtenção de eficiência de redução da carga poluente em termos de DQO e nitrogênio amoniacal, comparáveis a literatura, os valores absolutos de redução de nitrogênio amoniacal ainda necessitam de ajustes. Isto implica na diminuição da carga volumétrica de 54 cm para no máximo 20 cm . Já os valores de DQO foram reduzidos em percentuais satisfatórios (até 81%) estando também em termos de valores absolutos já adequados a legislação.

A macrófita aquática Espadana, demonstrou maior adaptação ao sistema, destacando-se no primeiro leito cultivado de fluxo ascendente, caracterizado por superfície encharcada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA - American Public Health Association/American Water Works Association. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of water and wastewater, 20^a edition, Washington, 1998.
2. MALAVOLTA, E. et al. Avaliação do estado nutricional de plantas: princípios e aplicações. 2.ed. Piracicaba: Potafós, 1989. 319 p.
3. MANNARINO, C.F. *et al.* Wetlands para Tratamento de Lixiviados de Aterros sanitários – experiências no aterro sanitário de pirai e no aterro metropolitano de gramacho (rj). Revista Engenharia Sanitária Ambiental. Vol.11 - Nº 2 - abr/jun 2006, p 108-112.
4. PUTZKE, Jair. **Biodiversidade: O Maior Espetáculo da Terra: nível fundamental e médio.** 3 v. Porto Alegre: Ed. Do Autor, 2006



5. VOESE, Adalberto. Proposição de Unidade de Tratamento de Esgoto Domiciliar de Baixo Custo. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental) – UNISC - Universidade de Santa Cruz do Sul, 2008.
6. MARQUES, D. da M. *et al.* Terras Úmidas Construídas de Fluxo Subsuperficial. In: CAMPOS, J. R. Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. Rio de Janeiro: ABES/PROSAB, p. 409-435. 1999.
7. BRIX, H. *Functions of macrophytes in constructed wetlands*. Water Science Technology, n.4, v.29, pp.71-78, 1994.
8. TANNER, C.C. *Plants as ecosystem engineers in subsurface-flow treatment wetlands*. Water Science Technology, v.44, n.11-12, pp.9-17, 2001.