

DESEMPENHO DE BANHADOS CONSTRUÍDOS VEGETADOS COM TANGOLA, NO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DE REATORES ANAERÓBIOS.

*André dos Santos Oliveira¹ Carolina Braz Silva²; Carlos Nobuyoshi Ide³; Maria Lúcia Ribeiro⁴;
Paula Loureiro Paulo⁵ Mirian Yasmine Krauspenhar Niz⁶ & Klebber T. Martins Formiga⁷*

RESUMO: Os banhados construídos são sistemas comumente utilizados como pós-tratamento de esgoto, sendo considerado de construção, operação e manutenção relativamente fácil. Neste trabalho, avaliou-se a desempenho da gramínea Tangola (híbrido de *Brachiara arrecta* (Tanner) e *Brachiara mutica* (Angola)) no processo de remoção de poluentes de efluente tratado anaerobiamente. O efluente foi proveniente do campus e Hospital da UFMS. A pesquisa foi realizada com a utilização de quatro células de banhados construídos, sendo três vegetadas com Tangola (S1, S2 e S3) e uma não vegetada (branco). O tempo de retenção hidráulica foi de 3 dias, recebendo uma taxa de aplicação de $0,72\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{dia}^{-1}$. A eficiência de remoção do sistema de banhados construídos vegetados com Tangola foi de 79,4% para a $\text{DBO}_{5,20}$, 72,5% para DQO, 96,7% para fosfato total e 65,9% para nitrogênio total. A produção média de biomassa verde encontrada foi de $34,6\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Pode se considerar que os banhados nas condições estudadas possibilitam atender os padrões de lançamento preconizados pelo CONAMA 357, exceto no que se refere aos organismos do grupo coliformes.

ABSTRACT: Constructed wetlands are systems commonly used for the post-treatment of domestic sewage and are considered of simple construction and relatively easy operation and maintenance. This work assessed the efficiency of this system planted with Tangola (a type of grass, hybrid of *Brachiara arrecta* (Tanner) and *Brachiara mutica* (Angola)) on the removal of pollutants from anaerobically treated domestic and hospital wastewater. Four constructed wetlands cells were used for the present study, where 3 were planted with Tangola (S1, S2 and S3) and one without Tangola (control). The hydraulic retention time (HRT) was 3 days and hydraulic loading rate was $0,72\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{day}^{-1}$. The efficiency of removing the system of constructed wetlands with Tangola was 79.4% for $\text{DBO}_{5,20}$, 72.5% for DQO, 96.7% for total PO_4^{-3} and 65.9% for total N. The average production of green biomass was 34.6ha^{-1} . The constructed wetlands, in the evaluated condition, meet the Brazilian standard, except with regard to coliforms groups.

Palavras-chave: Pós-tratamento, Banhados construídos, Tangola.

1) Mestrando em Engenharia do Meio Ambiente pela Universidade Federal de Goiás (UFG)

2) Mestranda em Engenharia do Meio Ambiente pela Universidade Federal de Goiás (UFG)

3, 4 e 5) Professores Associados (UFMS)

6) Bolsista de Iniciação Científica PIBIC/CNPq

7) Professor Adjunto (UFG)

1. INTRODUÇÃO

Os banhados construídos são montados com plantas aquáticas amanhadas em substrato (meio suporte) areia dentro de um tanque retangular impermeabilizado, semelhante a uma piscina.

O afluente entra no sistema, passa pelas plantas e substrato, saindo por uma tubulação de descarga localizada no final do banhado.

O principio de funcionamento do sistema é baseado naqueles encontrados em banhados naturais, sendo que uma das principais distinções entre eles, é o grau de controle exercido sobre os processos naturais. Em banhados construídos, o sistema é afetado por um fluxo constante de líquido e concentrações de sólidos suspensos e matéria orgânica – entre outros constituintes das águas residuais – a níveis consideravelmente mais elevados do que os que ocorreriam naturalmente (Silvestre & Jesus, 2002).

Existem basicamente três tipos de banhados para tratamento de efluentes (USEPA, 1995):

I. Banhados de fluxo superficial: o esgoto escoava através de uma base rasa, em contato com o sedimento subjacente. Ambas, plantas emergentes (enraizadas) e flutuantes podem ser usadas;

II. Banhados de fluxo subsuperficial: o efluente é mantido abaixo da superfície do substrato, geralmente granular que pode ser brita ou areia e onde as raízes das plantas se desenvolvem;

III. Banhados de fluxo vertical: uma coluna de esgoto é mantida sobre a superfície resultante em um fluxo de escoamento vertical, através do substrato até um sistema de drenagem no fundo. Sistema com grande potencial para nitrificação.

Os estudos com banhados foram iniciados nos anos setenta e uma grande quantidade nos anos oitenta, no Brasil. Tendo em vista o cenário apresentado pelos pequenos municípios do Estado de Mato Grosso do Sul, onde vários deles não apresentaram rede coletora de esgoto disponível, surgiu o interesse de trabalhar com banhados construídos, devido à simplicidade na manutenção, tecnologia de baixo custo e, grande eficiência no pós-tratamento de esgoto. Outro ponto focado por esta pesquisa foi a forma com que a tecnologia estudada poderia ser utilizada em benefício da população. Não somente tratar o esgoto gerado nos locais em que foram implantados (comunidades rurais, assentamentos e pequenas vilarejos), mas também, em proporcionar a possibilidade de alimentar caprinos, eqüinos e bovinos com a biomassa verde produzida com o crescimento da gramínea.

Segundo Nelson *et al.* (2003) citados por Asmus (2006), o princípio de funcionamento dos banhados pode ser um fator determinante para sua escolha de implantação. O banhado construído de fluxo subsuperficial apresenta algumas vantagens em relação aos demais tipos de fluxo (vertical

e superficial), sendo elas, o fato do esgoto não permanecer em contato com a atmosfera, evitando contato direto entre o esgoto e a população local, formação de maus odores, proliferação de insetos e contaminação por vetores.

O tratamento é realizado a partir do momento em que o afluente entra em contato com o substrato, através da retenção física realizada pelo mesmo. Bezerra (2004), verificou que no processo de depuração da matéria orgânica, o substrato é responsável na transformação das frações nitrogenadas e na adsorção de fósforo. Porém, essa capacidade de adsorção possui limite de saturação e, quando esse ocorre, o substrato perde a capacidade de adsorção de fósforo, dando início ao processo de liberação do mesmo junto ao efluente.

A outra etapa do tratamento é realizada com o crescimento das plantas, retirando do afluente os nutrientes necessários para o seu crescimento e a biodigestão, realizados pelos microrganismos que utilizam a zona de raízes das plantas como meio suporte (Asmus, 2006).

Segundo Corbitt & Bowen (1994), os banhados utilizados para o tratamento dos esgotos reduzem, significativamente, DBO_{5,20}, amônia, sólidos suspensos, nutrientes como nitrogênio e fósforo e outros poluentes como metais, através de processos químicos, físicos e biológicos, bem como através da absorção pela vegetação. As plantas, com os microrganismos existentes em suas raízes, promovem o tratamento do esgoto, através da degradação das moléculas orgânicas pelos microrganismos e a posterior absorção dos produtos dessa decomposição pelas plantas (Pott & Pott, 2000).

De acordo com Schilling & Lockaby (2006), o crescimento dos vegetais (incorporação de carbono) depende da existência de vários nutrientes, dentre eles, as concentrações de nitrogênio e fósforo.

A maior parte dos nutrientes absorvidos pelas plantas e microrganismos é liberada pela mineralização da matéria orgânica presente no afluente (Fellman & Amore, 2007).

De acordo com Hammer & Bastian (1998), as macrófitas aumentam o conteúdo de oxigênio dissolvido na água, solo e vizinhança próxima de suas raízes, através da presença de câmaras armazenadoras de ar distribuídas nas raízes, e da liberação de oxigênio no processo de crescimento. Com a presença do oxigênio, cria-se um ambiente propício para o crescimento de microrganismos aeróbios, com grande capacidade de degradação de poluentes (Sauer, 2001).

Gray *et al.* (2000), citados por Scholz *et al.* (2007), verificaram que os banhados construídos apresentaram remoção de demanda química de oxigênio, tratando esgoto doméstico, superior aos sistemas de banhados naturais (75% de remoção, em comparação com 48%, respectivamente).

Marques, Bertoldo & Giovannini (2000), ressaltam a fundamental importância na escolha do substrato, responsável por adsorver parte dos metais podendo, dessa forma, exercer influência no resultado final da eficiência dos banhados.

Santos (2007), estudando plantas ornamentais para remoção de poluentes presentes nos esgotos, amanhadas em substrato areia fina, teve um percentual de remoção de 18,2 e 64,8 para níquel e zinco, respectivamente.

Oliveira (2004), pesquisando a eficiência da *Typha domingenses* Pers. no tratamento de esgoto, amanhadas em substrato areia grossa, obteve eficiência de remoção de 59,35% para o zinco e para o níquel a eficiência foi negativa correspondendo a -50%.

Vários pesquisadores têm reforçado que a eficiência de remoção de nutrientes está integrada a diferentes tipos de plantas, que são utilizadas no pós-tratamento. Por exemplo, Hill *et al.* (2000), citados por Scholz, Harrington & Carroll (2007), testaram várias espécies de plantas, comprovando as diferentes eficiências de remoção de nutrientes para cada uma delas.

O objetivo deste trabalho foi de avaliar o desempenho de banhados construídos vegetados com a gramínea Tangola, no processo de pós-tratamento de efluentes de Reatores Anaeróbios de Fluxo Ascendente (RAFA).

2. METODOLOGIA

O projeto de pesquisa intitulado “Ecosistemas Criados para Controle de Qualidade Ambiental. Continuação - Fase 2”, consiste em 12 células de banhadas (Figura 1), sendo estudadas em escala semi-piloto, o primeiro e único do Estado de Mato Grosso do Sul, com tais dimensões. O projeto estuda diferentes tipos de vegetais (Tangola, Heliconia e Typha domingenses Pers.) plantados em diferentes substratos (areia fina, areia grossa e brita no1), com a finalidade de pesquisar qual o conjunto (substrato-planta) mais eficiente no processo de remoção dos poluentes presentes no esgoto.



Figura 1 – Vista panorâmica das 12 células de banhadas em escala semi-piloto.

O sistema principal é composto de gradeamento, desarenador (caixa de areia), RAFA (tratamento biológico) e cloração (desinfecção do efluente). O objetivo dos banhados é o de melhorar a qualidade do efluente do RAFA. O sistema de banhados trata uma pequena parcela do esgoto produzido na Universidade. A Figura 2, apresenta o croqui do conjunto de banhados construídos estudados.

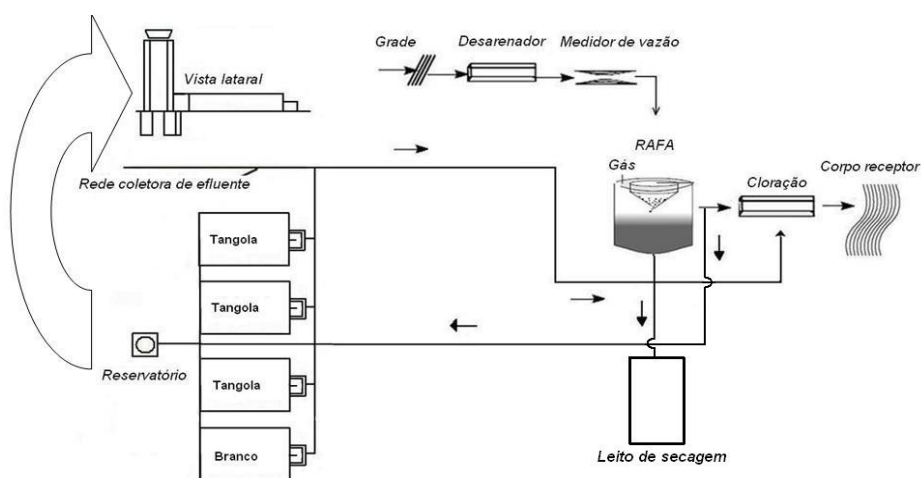


Figura 2 – Diagrama esquemático da ETE Lago do Amor e dos banhados construídos vegetados com Tangola.

O sistema de pós-tratamento utilizando banhados construídos vegetados com Tangola recebeu efluente proveniente do Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente – RAFA, da ETE – Lago do Amor, que trata o esgoto proveniente do campus da UFMS e do Hospital Universitário. Os banhados foram construídos com tijolos cerâmicos, rebocados com argamassa, impermeabilizados e com declividade de 2%. Consiste de quatro células com dimensões internas de 5m de comprimento, 3m de largura e substrato com 0,5m de altura. As células foram preenchidas com brita nº 1 e areia fina proveniente da cidade de Campo Grande - MS. A brita foi colocada em faixas de 0,5m de largura, na entrada e saída do banhado, para melhor distribuição do fluxo. O espaço restante da célula (4m) foi preenchido com areia fina, servindo de suporte para a gramínea. O Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) previsto para o sistema foi de 3 dias, recebendo uma taxa de aplicação de $0,72\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{dia}^{-1}$. Foram utilizadas três células para o plantio da Tangola (banhado S1, S2 e S3) e a outra célula não foi vegetada (branco), como mostram as Figuras 3 e 4, respectivamente.

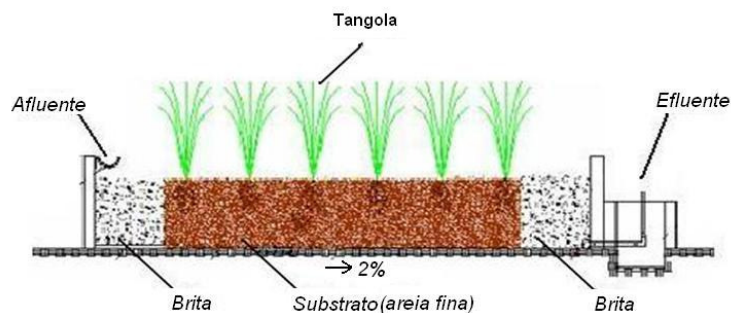


Figura 3 – Corte transversal das células de banhado vegetadas com Tangola (S1, S2 e S3).

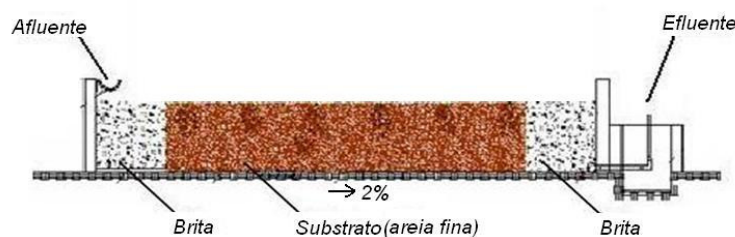


Figura 4 – Corte transversal da célula de banhado não vegetada (branco).

A seleção da espécie escolhida, para serem plantadas, baseou-se nos seguintes critérios:

- estarem ativas boa parte do ano;
- tolerarem as variações de temperatura da região;
- terem grande área de raízes;
- serem adaptadas a ambientes alagados;
- terem uma grande demanda por nutrientes para seu crescimento.

Dentre as espécies, que atenderam os requisitos acima, optou-se por utilizar a gramínea Tangola. Essa espécie foi estudada em um projeto anterior, apresentando bons resultados no tratamento do efluente de sistema de lagoa de estabilização de um matadouro/frigorífico da cidade de Rochedo, localizado no Estado de Mato Grosso do Sul.

As mudas foram retiradas de uma célula de banhado construído no matadouro/frigorífico e plantadas obedecendo a uma distância de 15x15cm, uma muda da outra. Prepararam-se as mudas cortando-as em talos, de modo que cada talo contivesse duas gemas.

Obedeceu-se uma distância de 15cm das paredes laterais do tanque e da brita, totalizando 117 quadrantes. Foi possível plantar 513 exemplares de Tangola em cada célula, a 5cm abaixo da superfície do substrato.

Foram realizados três cortes para determinar o ganho de biomassa verde, obedecendo a um período de oito semanas entre os cortes. No momento de realização dos cortes foi obedecida uma altura mínima de 20cm acima do substrato, com a finalidade de preservar as gemas responsáveis pela propagação da Tangola.

Durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa foi realizado o monitoramento diário das células de banhado. No período matutino e vespertino eram aferidas as vazões afluentes com a finalidade de manter a taxa de aplicação dimensionada para os banhados. A limpeza das calhas de distribuição do afluente era realizada com a finalidade de manter a distribuição uniforme do afluente, na entrada das células.

2.1. Procedimento de coleta

A seleção dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos foi baseada na Resolução CONAMA 357/05, que estabelece os padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores. A metodologia utilizada para a coleta e análise dos parâmetros, foi realizada de acordo com as técnicas preconizadas no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”, 21th ed. (APHA; AWWA; WPCF, 2005). Os parâmetros analisados foram: temperatura ambiente; temperatura da amostra; alcalinidade total; cloreto total; condutividade; demanda bioquímica de oxigênio (DBO_{5,20}); demanda química de oxigênio (DQO); fosfato total; nitrogênio total; nitrogênio total kjeldahl; nitrogênio amoniacal; nitrogênio orgânico; nitrogênio nitrito; nitrogênio nitrato; óleos e graxas; pH; sólidos sedimentáveis; sólidos totais; sólidos dissolvidos totais; sólidos suspensos totais; sulfato total; turbidez; coliformes totais e *E. coli*.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tangola utilizada no experimento apresentou um bom crescimento, se desenvolvendo rapidamente, ocupando todo espaço disponível no banhado (Figura 5). Doze semanas após o plantio da Tangola foi iniciado o monitoramento físico-químico e bacteriológico, do afluente e efluente dos banhados.

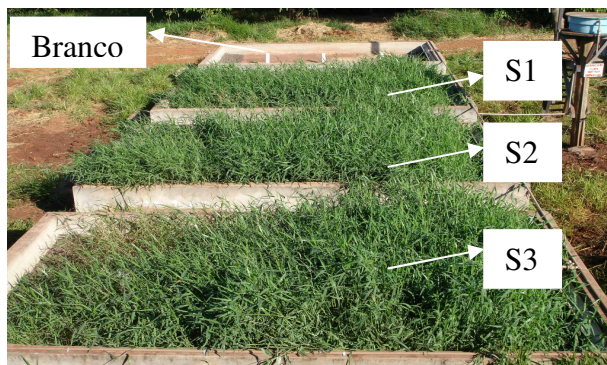


Figura 5 – Aspecto da Tangola após 12 semanas do plantio

Durante o período de monitoramento foram realizadas seis campanhas de coletas de amostras, agosto, outubro e dezembro de 2006 e no ano de 2007, os meses de fevereiro, março e junho. Em cada uma das amostras coletadas foram analisados 24 parâmetros. A Tabela 1 apresenta os resultados das concentrações médias e a eficiência de remoção obtida.

Tabela 1 – Concentrações médias e eficiência de remoção dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos monitorados no período de agosto/06 a junho/07.

Parâmetro	Unidades	Afluente	Efluente		Remoção (%)	
			Branco	Tangola	Branco	Tangola
Temperatura ambiente	°C	25,0	24,3	25,0	-	-
Temperatura da amostra	°C	26,0	24,5	24,6	-	-
Alcalinidade total	mg.L ⁻¹ CaCO ₃	168,5	141,5	126,5	16,0	24,9
Cloreto total	mg.L ⁻¹ Cl	48,4	52,2	44,3	-7,9	8,5
Condutividade	µS.cm ⁻¹	435	401	357,8	7,8	17,8
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹ O ₂	50,2	16,0	10,3	68,1	79,4
DQO	mg.L ⁻¹ O ₂	147,7	36,0	40,7	75,6	72,5
Fosfato total	mg.L ⁻¹ PO ₄ ⁻³	6,638	2,182	0,222	67,1	96,7
Nitrogênio total	mg.L ⁻¹ N	26,3	18,1	9,0	31,2	65,9
Nitrogênio total Kjeldahl	mg.L ⁻¹ N	26,3	17,9	7,7	31,9	70,8
Nitrogênio amoniacal	mg.L ⁻¹ N	24,0	16,4	7,1	31,7	70,4
Nitrogênio orgânico	mg.L ⁻¹ N	2,3	1,5	0,6	34,8	74,3
Nitrogênio nitrito	mg.L ⁻¹ N	0,007	0,049	0,0	-600,0	-143,7
Nitrogênio nitrato	mg.L ⁻¹ N	0,045	0,204	0,2	-353,3	-257,0
Óleos e graxas	mg.L ⁻¹	13,43	4,45	4,79	66,9	64,3
pH	-	6,89	6,84	6,3	-	-
Sólidos sedimentáveis	mL.L ⁻¹	<0,1	<0,1	<0,1	*	*
Sólidos totais	mg.L ⁻¹	313,3	272,6	241,3	13,0	22,9
Sólidos suspensos totais	mg.L ⁻¹	134,9	46,0	27,4	65,9	79,1
Sulfato total	mg.L ⁻¹	22	8	12,5	63,6	43,2
Turbidez	UNT	37,5	6,1	3,4	83,7	91
Coliformes totais	NMP/100mL	>2,4E+05	8,2E+04	3,4E+04	85,4	85,8
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	>2,4E+05	4,7E+04	9,7E+03	91,2	95,9

(-) sinal negativo, significa que houve aumento na concentração, do efluente em relação ao afluente.

(*) não foram calculados, por apresentarem valores abaixo do limite de detecção.

A redução da matéria orgânica presente no afluente ocorreu, provavelmente, através de retenção física realizada pelo substrato e por degradação biológica, principalmente por organismos existentes na zona de raízes das plantas, que oferece condições ótimas para a proliferação das mesmas.

O Tempo de Retenção Hidráulico (TRH) previsto para o sistema foi de 3 dias, recebendo uma taxa de aplicação de $0,72\text{m}^3\text{m}^{-2}\text{dia}^{-1}$. Nessas condições, o banhado vegetado com Tangola apresentou uma remoção média de 79,4% de $\text{DBO}_{5,20}$ e o banhado branco de 68,1% (Figura 6).

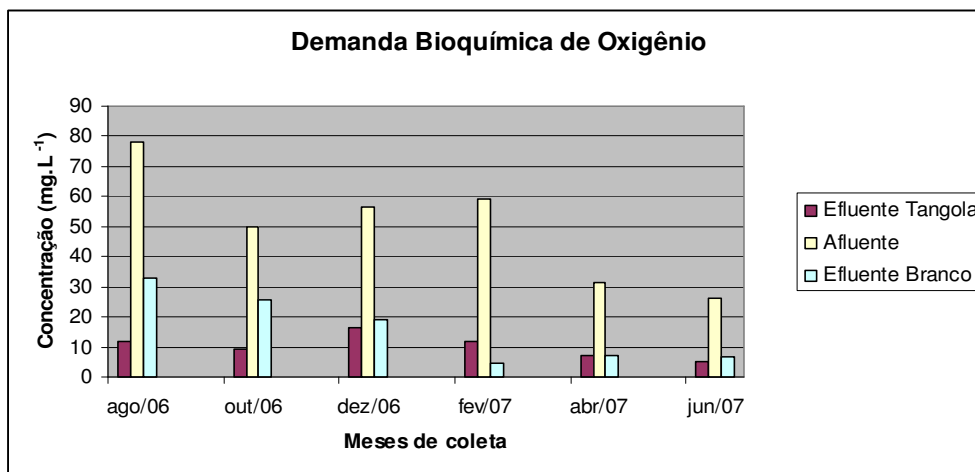


Figura 6 – Comportamento da $\text{DBO}_{5,20}$, ao longo do período de monitoramento.

Segundo o Capítulo IV da Deliberação CECA 003/1997, vigente no Estado de Mato Grosso do Sul, que estabelece os padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores, o limite máximo de lançamento para $\text{DBO}_{5,20}$ é de 60mg.L^{-1} , podendo ser ultrapassada, desde que não altere a classe do corpo receptor. Verificou-se que, ao longo de todo o monitoramento, as concentrações de $\text{DBO}_{5,20}$ dos efluentes permaneceram abaixo dos limites máximos exigidos pela legislação. O efluente da célula de banhado branco apresentou uma concentração máxima de $33,1\text{mg.L}^{-1}$ e $16,3\text{mg.L}^{-1}$ para a célula vegetada com Tangola.

Na Tabela 2 são apresentadas as concentrações máximas e mínimas observadas no afluente e efluente das células de banhado.

TABELA 2 – Concentrações máximas e mínimas dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos monitorados no período de agosto/06 a junho/07.

Parâmetro	Unidades	Afluente		Efluente			
				Branco		Tangola	
		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
Temperatura ambiente	°C	31,0	21,5	26,5	21,5	27,5	21,5
Temperatura da amostra	°C	28,0	24,0	28,0	18,0	27,7	17,5
Alcalinidade total	mg.L ⁻¹ CaCO ₃	200,5	88,8	192,0	98,8	159,3	80,5
Cloreto total	mg.L ⁻¹ Cl	55,9	39,7	76,6	31,8	62,5	33,2
Condutividade	µS.cm ⁻¹	564	307	543	215	449	220
DBO _{5,20}	mg.L ⁻¹ O ₂	78,0	26,3	33,1	4,7	16,3	5,2
DQO	mg.L ⁻¹ O ₂	165,4	114,3	60,2	21,6	56,3	32,5
Fosfato total	mg.L ⁻¹ PO ₄ ⁻³	7,952	5,380	5,004	0,440	0,455	0,099
Nitrogênio total	mg.L ⁻¹ N	30,695	21,026	27,313	8,576	14,547	3,933
Nitrogênio total Kjeldahl	mg.L ⁻¹ N	30,6	21,0	27,2	8,5	13,7	3,8
Nitrogênio amoniacal	mg.L ⁻¹ N	29	17,4	22,5	8,2	13,2	3,6
Nitrogênio orgânico	mg.L ⁻¹ N	3,6	1,4	4,7	0,3	1,2	0,1
Nitrogênio nitrito	mg.L ⁻¹ N	0,017	<0,01	0,128	0,004	0,032	0,007
Nitrogênio nitrato	mg.L ⁻¹ N	0,090	<0,01	0,667	0,037	0,475	0,034
Óleos e graxas	mg.L ⁻¹	27,11	2,77	7,27	1,70	7,48	3,18
pH	-	7,08	6,70	7,30	6,49	6,87	6,00
Sólidos sedimentáveis	mL.L ⁻¹	1,0	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Sólidos totais	mg.L ⁻¹	360,0	274,0	332,0	237,0	292,0	211,0
Sólidos suspensos totais	mg.L ⁻¹	162,0	105,0	64,5	28,0	37,8	19,0
Sulfato total	mg.L ⁻¹	29	8	38	<1	32	1
Turbidez	UNT	41,3	31,8	11,0	2,1	6,1	2,3
Coliformes totais	NMP/100mL	>2,4E+06	6,9E+04	>2,4E+05	7,4E+03	9,4E+04	3,7E+03
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	>2,4E+06	9,8E+03	2,3E+05	1,0E+03	3,0E+04	2,8E+02

(*) não foram calculados, por apresentarem valores abaixo do limite de detecção.

A DQO é de fundamental importância para determinar a eficiência do tratamento. A variação de DQO presente no afluente e no efluente pode ser observada na Figura 7. Em todo o período de monitoramento foi verificada boa remoção de DQO. No entanto, o banhado branco (75,6%), apresentou uma remoção média superior ao vegetado (72,5%).

A remoção de DQO do banhado vegetado foi inferior ao banhado branco na coleta realizada nos mês de dezembro, fevereiro, abril e junho, provavelmente, devido ao processo de decomposição das raízes das plantas, que normalmente morrem, elevando a concentração da DQO no efluente. Outro fator que pode ter contribuído é a formação de caminhos preferenciais no substrato, devido a decomposição de raízes. Portanto, esses caminhos podem diminuir o TRH e, provavelmente, diminuir a eficiência do tratamento.

O valor máximo de DQO encontrado no afluente foi de 165,4mg.L⁻¹ e o mínimo de 114,3mg.L⁻¹. Para a DQO, no efluente do banhado branco foram encontrados 60,2 mg.L⁻¹ e 21,6mg.L⁻¹, para máximo e mínimo, respectivamente. No efluente das células com Tangola foram encontrados máximos e mínimos de 56,3 mg.L⁻¹ e 32,5mg.L⁻¹ O₂ de DQO, respectivamente.

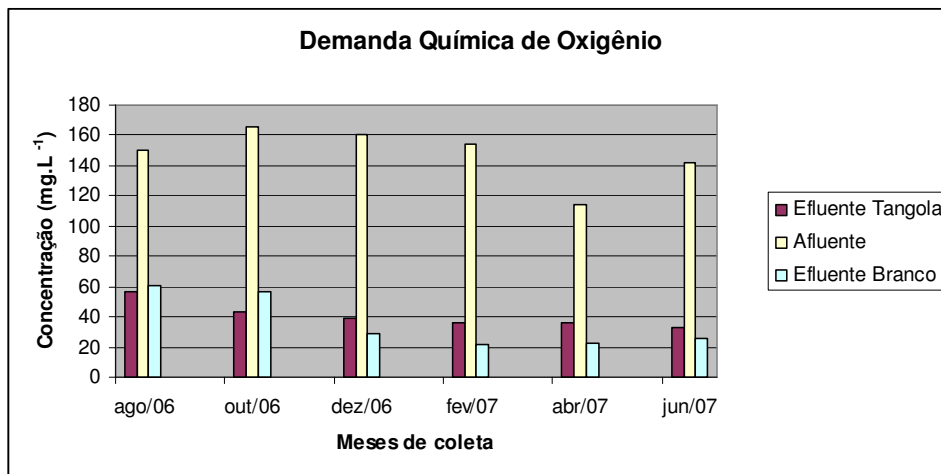


Figura 7 – Comportamento da DQO, ao longo do período monitoramento.

O nitrogênio amoniacal somado com o nitrogênio orgânico representa o nitrogênio total kjeldahl (NTK). O banhado branco e os vegetados com Tangola apresentaram uma remoção média de nitrogênio orgânico de 34,8% e 74,3%, respectivamente. O valor médio de NTK foi 26,3mg.L⁻¹ para o afluente, 17,9mg.L⁻¹ para o banhado branco e de 7,7mg.L⁻¹ para o vegetado com Tangola. Seguido por uma remoção de NTK correspondente a 31,9% para o banhado branco e de 70,8% para o banhado vegetado com Tangola.

O nitrito é a forma mais instável do nitrogênio e o nitrato a forma mais estável e disponível para as plantas. Os banhados vegetados com Tangola apresentaram uma remoção média de -143,7% e -257%, para nitrito e nitrato, respectivamente. No banhado branco teve remoção de -600% para nitrito e -353,3% para nitrato. O valor negativo indica a ocorrência do processo de nitrificação no sistema. No banhado vegetado com Tangola verificou-se uma remoção média de 65,9% e para o banhado branco de 31,2% de nitrogênio total.

O nitrogênio amoniacal é uma das formas de nitrogênio presentes em banhados construídos, essa forma mineralizada de nitrogênio é resultante da decomposição de compostos orgânicos nitrogenados (Santos, 2007). A remoção média de nitrogênio amoniacal (Figura 8) foi de 70,4 e 31,7% para a Tangola e o banhado branco, respectivamente. O banhado vegetado com Tangola apresentou uma eficiência 2,2 vezes a mais que o banhado branco, na remoção de nitrogênio amoniacal. O valor médio da concentração de nitrogênio amoniacal do afluente foi de 24mg L⁻¹ e do efluente foi de 16,4mg L⁻¹ para o branco e de 7,1mg L⁻¹ para a Tangola.

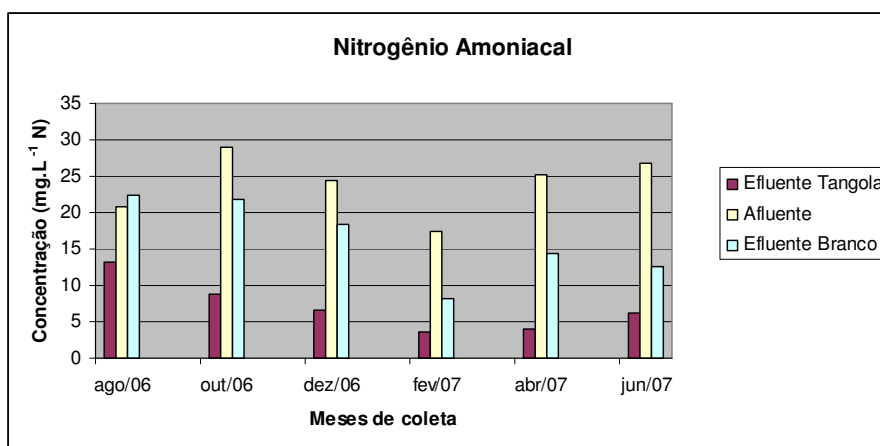


Figura 8 – Comportamento do nitrogênio amoniacal, ao longo do período de monitoramento.

O fósforo é um macronutriente essencial para o desenvolvimento dos vegetais. O fosfato total (Figura 9), expresso em (PO_4^{-3}) , apresentou valores médios de $6,638\text{mg.L}^{-1}$, $2,182\text{mg.L}^{-1}$ e $0,222\text{mg.L}^{-1}$ para o afluente, branco e Tangola, respectivamente. O percentual de remoção encontrado, foi de 67,1% para o banhado branco e 96,7% para o banhado vegetado com Tangola. Estes resultados foram superiores aos encontrados por Oliveira (2004), que obteve remoção de 46,62% para o banhado branco e 54,39%, para os vegetados com a macrófita *Typha domingenses* Pers.

O aumento na concentração de fosfato no efluente do banhado branco, até a terceira coleta, ocorreu, provavelmente, devido ao arraste deste, que estava presente no substrato. Toniato *et al.* (2005), relata que o fósforo a partir do momento que encontra-se em excesso no substrato pode ser liberado no efluente, o que foi verificado até a terceira coleta. Nas três últimas coletas, foi verificado um decréscimo na concentração de fosfato total no banhado branco, provavelmente, devido a retenção física no substrato. A remoção de fosfato total no efluente do banhado vegetado com Tangola foi uniforme ao longo do monitoramento.

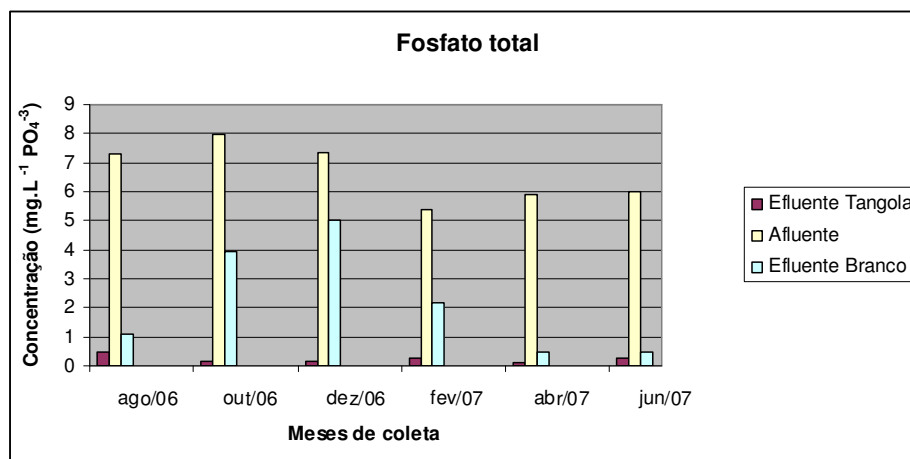


Figura 9 – Comportamento do fosfato total, ao longo do período monitoramento.

A condutividade elétrica fornece concentração de sais presentes no afluente e efluente (Figura 10). Com exceção da primeira coleta, todas as amostras coletadas apresentaram valores de efluente inferiores ao afluente. A concentração média de sais encontrada no afluente, foi de $435 \mu\text{Scm}^{-1}$ e para o efluente de $401 \mu\text{Scm}^{-1}$ e $357,8 \mu\text{Scm}^{-1}$, respectivamente, para o banhado branco e vegetado com Tangola. O banhado vegetado apresentou uma remoção média superior ao banhado branco para a condutividade, o primeiro teve uma remoção de 17,8% e o outro de 7,8%. Provavelmente, devido a maior retenção de sais, promovida pelos banhados vegetados.

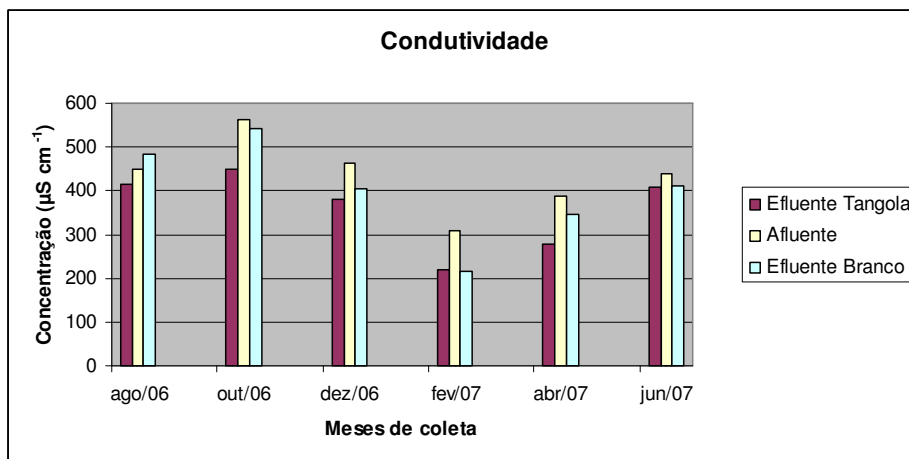


Figura 10 – Comportamento da condutividade, ao longo do período monitoramento.

As concentrações encontradas de sólidos sedimentáveis foram menores que $0,1\text{mL.L}^{-1}$, durante o período de monitoramento para o afluente e efluente. A Figura 11 mostra o comportamento dos sólidos totais. Os banhados vegetados com Tangola apresentaram uma remoção média de sólidos totais de 22,9% e o banhado branco de 13%.

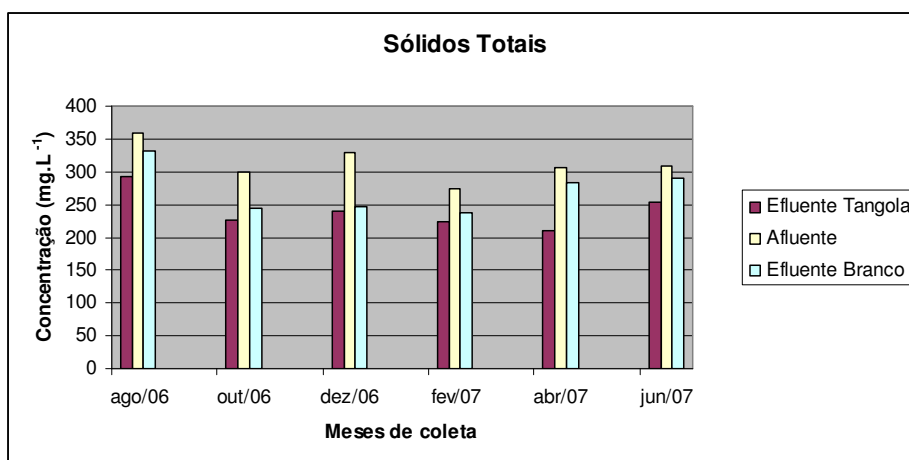


Figura 11 – Comportamento de sólidos totais, ao longo do período monitoramento.

A turbidez está relacionada com a quantidade de sólidos em suspensão presentes no afluente e no efluente. A Figura 12 mostra o comportamento da turbidez ao longo do monitoramento. A remoção média verificada no banhado vegetado com Tangola foi de 91% e 83,7% para o banhado branco. Segundo Toniato *et al.* (2005), sistemas de tratamento por banhados construídos são muito eficazes na remoção de sólidos em suspensão e, conseqüentemente, da turbidez, pois o esgoto passa por um processo de tamisação através do substrato.

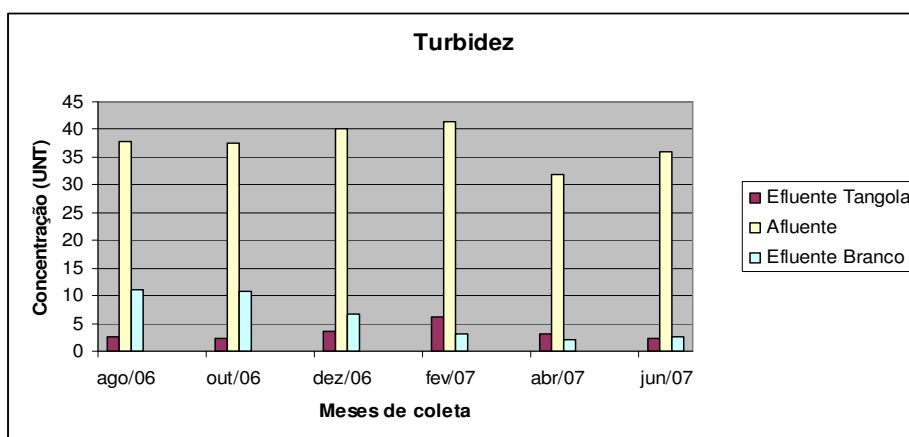


Figura 12 – Comportamento da turbidez, ao longo do período de monitoramento.

Relacionando as Figuras 12 e 13, observa-se a uma semelhança no comportamento dos gráficos. A remoção média de SST (Figura 14) foi de 79,1% para a Tangola, 11,9% menor que a remoção apresentada para turbidez. No banhado branco a eficiência de remoção de SST foi de 65,9%, sendo 17,8% menor que a observada no parâmetro turbidez.

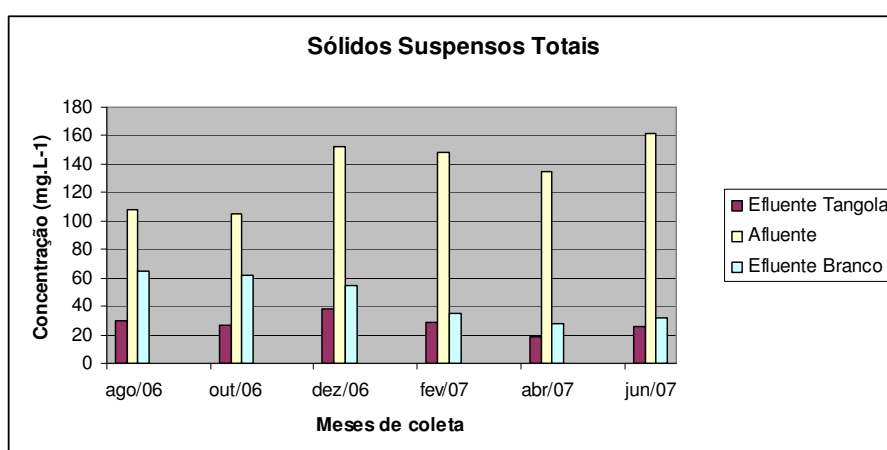


Figura 13 – Comportamento de sólidos suspensos totais, ao longo do período monitoramento.

Os banhados vegetados com Tangola e banhado branco apresentaram, ao longo do período de monitoramento, um comportamento estável para o pH. Segundo a legislação que estabelece os

padrões de lançamento de efluentes em corpos receptores (CECA 003/1997 e CONAMA 357/2005), os valores devem estar entre 5,0 e 9,0. Os valores encontrados nesta pesquisa estão de acordo com a legislação, apresentando um valor máximo de 7,3 e mínimo de 6,5 para o banhado branco e um valor máximo de 6,9 e mínimo de 6,0 para o banhado vegetado com Tangola.

Em quatro dos seis meses monitorados, não foi possível quantificar com precisão o NMP (número mais provável) de coliformes totais e *E. coli*, presentes no afluente dos banhados. O mesmo ocorreu, no banhado branco e na Tangola. Essa situação decorreu da diluição insuficiente das amostras. Por isso, é recomendado que a análise seja realizada com diferentes diluições de uma mesma amostra, mas, devido ao custo do método analítico (Colilert), nesse estudo só foi possível realizar a análise com apenas uma diluição para cada amostra.

Devido ao exposto acima, foi necessário fazer a seguinte aproximação na quantificação de coliformes, para comparar a eficiência de remoção: quando o NMP resultava em um valor maior que o tabelado pelo método, considerou-se este valor como o NMP. Contudo, é importante ressaltar que, ao realizar a aproximação do NMP de coliformes, subestima-se o percentual de remoção, o qual pode ser bem maior que o calculado.

Os valores médios de coliformes totais e *E. coli*, com suas respectivas percentagens médias de remoção, estão apresentados na Tabela 3. Embora apresente uma remoção percentual elevada, as bactérias do grupo coliforme são representadas em escala logarítmica, portanto, 90% corresponde a 1 log, ou seja, redução de 1 (uma) ordem de grandeza na concentração de bactérias do grupo coliforme, o que não significa muito, ou seja, apresenta baixa capacidade de remover organismos do grupo coliformes. Por isso, o efluente é clorado antes de ser lançado ao corpo receptor.

Tabela 3 – Valores médios do NMP de coliformes e o percentual de remoção.

Parâmetro	Unidades	Afluente	Efluente		Remoção (%)	
			Branco	Tangola	Branco	Tangola
Coliformes totais	NMP/100mL	2,4E+05	8,2E+04	3,4E+04	85,4	85,8
<i>E. coli</i>	NMP/100mL	2,4E+05	4,7E+04	9,7E+03	91,2	95,9

Durante o período de monitoramento, a temperatura ambiente no momento das coletas apresentou um valor médio de 25°C. A temperatura média das amostras foi de 26°C para o afluente, 24°C no banhado branco e 25°C para o banhado vegetado com Tangola.

A eficiência de redução da alcalinidade foi de 24,9% para o banhado vegetado e de 16% para o branco.

Óleos e graxas apresentaram um valor médio de 13,43mg.L⁻¹ para o afluente, 4,45mg.L⁻¹ para o branco e 4,79mg.L⁻¹ para o banhado vegetado. A eficiência de remoção foi de 66,9% e 64,3% para o banhado branco e vegetado com Tangola, respectivamente. Recomenda-se um sistema de

remoção de óleos e graxas antes do sistema de pós-tratamento, para evitar a colmatção do substrato, principalmente na parte inicial das células de banhado, que se localizam próximas da entrada do afluente.

Os banhados vegetados com Tangola e o banhado branco apresentaram um decaimento de sulfato de 43,2% e 63,6%, respectivamente. A redução das concentrações de sulfato indica condições de anaerobiose provavelmente, não deve estar ocorrendo a transferência de oxigênio das folhas para a zona de raízes, realizada pela Tangola.

Durante o período de monitoramento foram realizadas três podas da Tangola, para determinar a produção de biomassa verde, obedecendo um período de oito semanas entre os cortes. A produtividade média de biomassa encontrada foi de 34,6t.ha⁻¹. Segundo SOUSA & IDE (1998), estudando o comportamento da Tangola no pós-tratamento de Lagoas de Estabilização de um matadouro/frigorífico, encontraram uma produtividade média de biomassa verde de 31,5t.ha⁻¹, realizando cortes a cada 12 semanas.

4. CONCLUSÕES

Para a avaliação da eficiência da Tangola no pós-tratamento de esgoto proveniente de Reator Anaeróbico de Fluxo Ascendente, foram realizadas análises físico-químicas e bacteriológicas do afluente e efluente dos banhados, iniciado a partir da estabilização das plantas.

A Tangola, plantada nas células de banhado, apresentou um crescimento ideal para o início do monitoramento físico-químico e bacteriológico, 12 semanas após o plantio, tendo produtividade correspondente a 34,6t.ha⁻¹. A biomassa verde produzida pode ser utilizada na alimentação de bovinos, eqüinos e caprinos, após serem analisados quanto a incorporação ou não de metais em sua estrutura foliar.

Observou-se uma pequena oscilação de pH em torno do neutro, não interferindo no desenvolvimento da Tangola.

A Tangola não apresentou uma boa eficiência no processo de remoção de condutividade (17,8%) e sólidos dissolvidos totais (-19,5%).

A DQO e DBO_{5,20} apresentaram eficiência de remoção para o banhado vegetado com Tangola que atenderam as especificações da legislação vigente no Estado de Mato Grosso do Sul (CECA 003/1997), sendo 72,5% e 79,4%, respectivamente.

A série nitrogenada e fosfato total, apresentaram bons resultados, o primeiro oscilando em torno de 70% e o outro 96,7%.

Confirmando o que já havia sido encontrado em estudos realizados por outros pesquisadores, os banhados vegetados com Tangola apresentaram uma boa remoção de turbidez e sólidos suspensos totais, sendo 91% e 79,1%, respectivamente.

As células de banhado vegetadas com Tangola não apresentaram uma boa remoção de coliformes totais e nem de *E. coli*, sendo necessário o encaminhamento do efluente para a cloração, para atender aos padrões de lançamento.

Embora os banhados construídos vegetados com Tangola não tenham apresentado uma remoção satisfatória de alguns poluentes, eles podem ser recomendados, pois apresentaram uma boa eficiência na remoção de poluentes, que são exigidos na legislação, como por exemplo, DBO_{5,20}.

Em regiões desprovidas de tratamento convencional de esgoto, os banhados construídos surgem como uma opção de pós-tratamento, eficiente e de baixo custo de construção, manutenção e operação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA; AWWA; WPCF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21 ed. Washington D.C: American Public Health Association, 953p, 2005.

ASMUS, A. F. *Estudo da adaptabilidade de plantas ornamentais em banhados construídos, tratando efluentes de reator anaeróbio de fluxo ascendente* [Monografia]. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2006.

BEZERRA, L. P. *Produtividade da Typha domingensis Pers. em banhados construídos para tratamento de efluentes de um RAFA* [Monografia]. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2004.

BRASIL. Conselho Estadual de Controle Ambiental. *Deliberação n° 003 de 20 de junho de 1997. Dispõe sobre a preservação e utilização das águas das bacias hidrográficas do Estado de Mato Grosso do Sul, e dá outras providências*. Governo do Estado de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, junho. 1997.

_____. Conselho Nacional do Meio Ambiente. *Resolução n° 357, de 17 março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, março. 2005.

CORBITT, R.A.; BOWEN, P.T. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment*. Applied Wetlands Science and Technology, Lewis Publishers, Great Britain, p. 221. 1994

FELLMAN, J.B.; D'AMORE, D.V. *Nitrogen and phosphorus mineralization in three wetland types in southeast Alaska, USA*. Wetlands, v. 27, n. 1, p. 44-53, March 2007.

GRAY, S.; J. KINROSS; P. READ; A. MARLAND. *The nutrient assimilative capacity of maerl as a substrate in constructed wetland system for waste treatment*, Water Research, v. 34, p. 2183-90, 2000.

HAMMER, D.A.; BASTIAN, R.K. *Wetlands ecosystems: Natural waters purifiers?* In: Constructed wetlands for wastewater treatment: municipal, industrial and agricultural. 3ed. Proceedings from the first International Conference on Constructed Wetlands for Wastewater Treatment held in Chattanooga, Tennessee on June 13-17, 1998. Michigan: Lewis Publishers, p. 5-19, 1998.

HILL, C. M.; J. DUXBURY; L. GEOHRING; T. PECK. *Designing constructed wetlands to remove phosphorus from barnyard runoff: a comparison of four alternative substrates.* Journal of Environmental Science and Health Part A – Toxic and Hazardous Substances and Environmental Engineering v, 35, p.1357–75, 2000.

MARQUES, D.M.L.M.; BERTOLDO, D.T.; GIOVANNINI, S.G.T. *Controle de drenagem urbana mista por banhados construídos.* In: 27°. CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais... Porto Alegre: ABES, 2000.

NELSON, M.; ALLING, A.; DEMPSTER, W. F.; VAN THILLO, M.; ALLEM, J. *Advantages of using subsurface flow constructed wetlands for wastewater treatment in space applications: ground-based mars base prototype.* Advances in Space Research. Elsevier, v. 31, ed 7, p. 1799-1804, 2003.

OLIVEIRA, K.R.F. *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por banhados construídos de fluxo subsuperficial* [Monografia]. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2004.

POTT, V.J.; POTT, A. *Plantas aquáticas do Pantanal.* Brasília. EMBRAPA, 404 p, 2000.

SANTOS, L.S. *Aplicação de plantas ornamentais em banhados construídos para remoção de poluentes* [Monografia]. Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, 2007.

SAUER, P.A.; KIMBER, A. *Introduction, wetland history, design, and treatment.* In: Technical Assessment of Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Iowa. Ankeny, Iowa: Iowa Association of Municipal Utilities, 2001.

SCHILLING, E.B.; LOCKABY, B.G. *Relationships between productivity and nutrient circulation within two contrasting southeastern u.s. floodplain forests.* Wetlands, v. 26, n. 1, p. 181-192, March 2006.

SCHOLZ, M. et al. *The integrated constructed wetlands (icw) concept.* Wetlands, v. 27, n. 2, p. 337-354, Jun. 2007.

SILVESTRE, A. C.; JESUS, M. P. *Tratamento de Águas Residuais Domésticas em Zonas Úmidas Artificiais* [Monografia]. Portugal: Instituto Superior Técnico, 2002.

SOUSA, L. M.; IDE, C. N. *Sistemas de pós tratamento de despejos líquidos de matadouro em banhados artificiais de leitos cultivados.* Relatório Final do Projeto de Pesquisa “Ecossistemas Criados para o Controle da Qualidade Ambiental”. Campo Grande: DHT/UFMS, 1998.

TONIATO, J.V. et al. *Avaliação de um wetland construído no tratamento de efluentes sépticos.* In: 23°. CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Anais... Campo Grande-MS: p, 11, 2005.

USEPA. Environmental Protection Agency – *A Handbook of Constructed Wetlands. A guide to creating wetlands for: Agricultural Wastewater, Domestic Wastewater, Coal Mine Drainage, Stormwater in the Mid-Atlantic Region. Volume 1.* (5 volumes, 1995). Government Printing Office. 52p (Region III with USDA, NRCS, ISBN 0-16-052999)