

WETLANDS CONSTRUÍDAS NA REDUÇÃO DE CARGA ORGÂNICA DE EFLUENTE DE LATICÍNIO

Rita de Cássia Souza de Queiroz Lopes (IFBA) rcrinha30@gmail.com
Isadora Rosário Dantas (UESC) isadorarosario@gmail.com
Rodrigo Santos Andrade (UESC) andrade.unv@gmail.com
Luciano Brito Rodrigues (UESB, Campus Itapetinga) rodrigueslb@gmail.com.
José Adolfo de Almeida Neto (UESC) jalmeida@uesc.br

Resumo

As macrófitas aquáticas são utilizadas em *wetlands* construídas para o tratamento da água residuária de laticínio. Considerando a diversidade e o potencial inexplorado da flora aquática regional, objetivou-se coletar, identificar e analisar o potencial das macrófitas aquáticas nativas e inéditas na redução de carga orgânica de efluentes de laticínio em *wetlands* construídas. Foram coletadas e identificadas a *Pistia stratiotes*, *Polygonum* sp. e *Eichhornia paniculata*. A água residuária de laticínio foi diluída com água da chuva, sendo estabelecidas oito *wetlands*. Foram realizadas análises de sólidos totais, DQO, temperatura, pH e estimou-se os valores de DBO. As melhores percentagens na redução de carga orgânica foram para a *Polygonum* sp. ocorreram na diluição D1. A diluição D2 obteve resultados mais eficientes para os teores de sólidos. As macrófitas *Polygonum* sp. e *Eichhornia paniculata* foram consideradas aptas para aplicação em *wetlands* construídas na redução da carga orgânica de água residuária de laticínio.

Palavras-Chaves: (*Wetlands* construídas; Fitorremediação; Macrófitas aquáticas)

1. Introdução

As *Wetlands* construídas têm sido estudada para o tratamento de água pluvial, água residuária industrial, esgoto doméstico, lagoas e rios já eutrofizados, como na Ásia (GOLDA et al. 2014) e Estados Unidos (KADLEC 2009) e Europa (WEŻOWICZ et al. 2015). Considerada uma tecnologia emergente, as *wetlands* construídas são lagoas rasas onde cultiva-se macrófitas que utilizam os substratos dos efluentes e promovem seu tratamento.

A principal classificação das macrófitas são: a) emergentes ou emersas: enraizadas no solo e com folhas fora da água; b) submersas: podem ou não estarem enraizadas no solo; e c) flutuantes: aquelas que flutuam na superfície da água (ESTEVES 1998).

A fitorremediação é uma atividade de redução dos poluentes e contaminantes por meio de plantas aquáticas e microrganismos presentes nas suas raízes (OGAR et al. 2015; CALIMAN et al. 2011). As *wetlands* construídas são as tecnologias mais aplicáveis para este fim, sendo

sistemas eficientes na redução de carga orgânica, inorgânica, metais pesados, pesticidas e microrganismos patogênicos (DIPU et al. 2011; GAJEWSKA et al., 2014). A escolha das macrófitas aquáticas é fundamental na fitorremediação, devendo-se avaliar sua adaptação ao clima, solo e efluente a ser tratado (STEFANOWICZ et al. 2015; XU et al., 2014;). O uso de *wetlands* construídas na fitorremediação de águas residuárias alcançou os níveis de redução de um tratamento terciário, que comparativamente, possuem custos mais elevados, sugerindo o uso de *wetlands* construídas como alternativa de baixo custo na redução de contaminantes em diversos tipos de efluentes (CALIMAN et al. 2011; MATAMOROS, GARCIA, BAYONA, 2008).

Atualmente pesquisas utilizando macrófitas aquáticas em sistemas de *wetlands* construídas têm obtido resultados satisfatórios para o potencial de fitorremediação em efluentes industriais como em: vinícola (SERRANO et al. 2011) e em laticínios (IBEKWE et al. 2003). No Brasil, há exemplos de efluentes: da bovinocultura leiteira (PELLISSARI et al. 2013), de laticínios (MATOS et al. 2010) e da piscicultura (HUSSAR, BASTOS 2008). Entretanto, são escassos os trabalhos científicos com plantas aquáticas nativas da região do experimento, que são comuns e de fácil acesso, sendo relevante investigar a capacidade de depuração das mesmas, nas condições climáticas da região.

A crescente demanda de produtos lácteos resulta na geração de grandes volumes de efluentes de elevada carga orgânica e poder de eutrofização de corpos d'água se descartado sem tratamento. O gerenciamento deste efluente necessita ser otimizado, sugerindo a aplicação de técnicas para o seu tratamento ou valorização antes da sua destinação final (LIN et al., 2014).

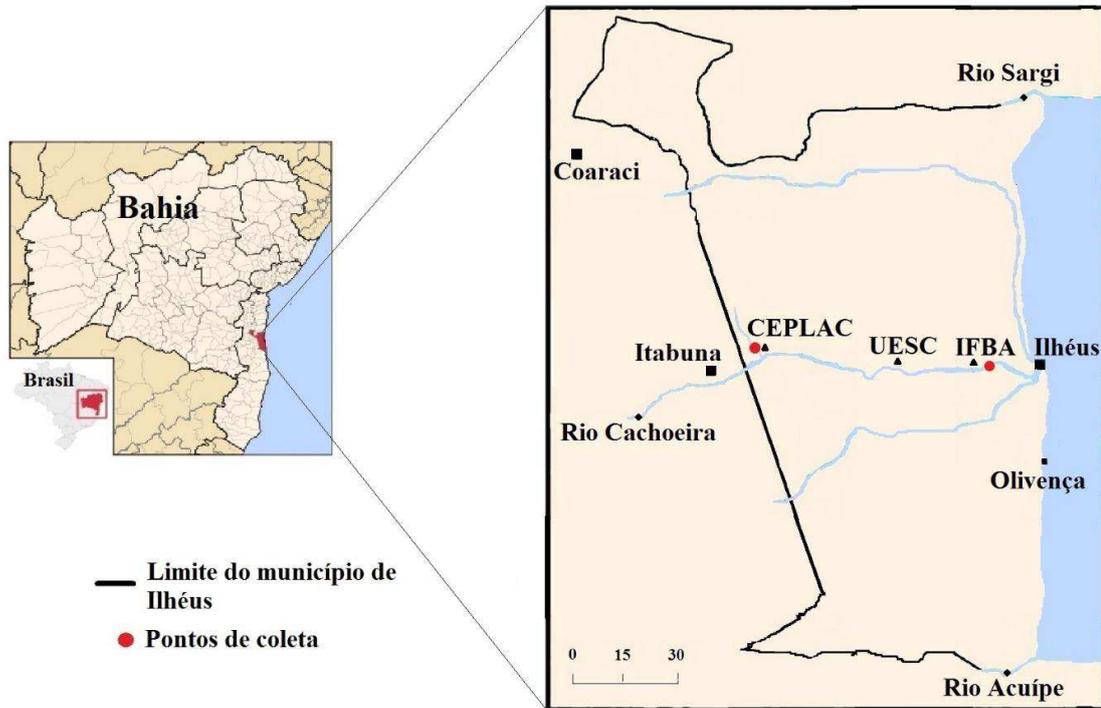
A escolha da microrregião de Itabuna/Bahia/Brasil justifica-se pelo clima tropical, favorável ao desenvolvimento de plantas aquáticas em *wetlands* construídas durante todo o ano e também por sua relevância na produção no setor lácteo, elencando 20 (vinte) laticínios com registro do Serviço de Inspeção Estadual (SIE) (ADAB 2014). Assim, o objetivo desta pesquisa foi coletar, identificar e analisar plantas aquáticas nativas e inéditas na redução da carga orgânica de efluentes de laticínio em *wetlands* construídas com superfície de água livre.

2. Material e métodos

2.1. Coleta e identificação das macrófitas aquáticas

O experimento foi desenvolvido no município de Itabuna-Bahia-Brasil. Uma espécie de macrófita foi coletada no Rio Cachoeira e outras duas num córrego afluente do Rio Cachoeira (Figura 1).

Figura 1 - Identificação dos locais da coleta das macrófitas aquáticas regionais



Fonte: Próprios autores

2.2. Coleta da água residuária de laticínio (ARL) e água da chuva (AC) no laticínio

O efluente foi denominado como água residuária de laticínio (ARL) e foi coletado na entrada do reservatório, antes da caixa de gordura, em laticínio de médio porte no Município de Itabuna/BA e foi acondicionada em galões de 50 litros. O laticínio tem sistema próprio de coleta de água da chuva (AC) que também foi acondicionada em galões de 50 litros. A ARL e a AC foram transportadas em temperatura ambiente até ao laboratório de pesquisa do grupo Bioenergia e Meio Ambiente (BioMA) da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC).

2.3. Montagem das *wetlands* construídas

As *wetlands* foram montadas em galões polipropileno com dimensões de 42 x 27 x 27 cm, com volume preenchido foi de 10 litros e construídas sem material suporte (brita, solo e

outros), operação em batelada e água superficial livre. Oito sistemas foram montados, utilizando duas diferentes diluições, D1 e D2. Para determinar as diluições, partiu-se do valor médio de 3.500 mg/L de DQO (MANTOVI et al., 2003; MATOS et al., 2010), porque a DQO da ARL do laticínio ainda não era conhecida.

Os sistemas foram submetidos aos testes em ambiente coberto, com incidência de luz solar em parte do dia e a temperatura ambiente.

2.4. Análises físico-químicas

O experimento durou dezesseis dias. As análises de DQO foram realizadas em Bloco digestor Hach modelo 456003 e por três vezes: início, meio e fim do experimento. As análises de sólidos totais, pH e temperatura foram realizadas por cinco vezes em intervalos de quatro dias. O pH foi medido com fitas graduadas da marca Macherey-Nagel e a temperatura por meio do termômetro da marca Synth.

Alíquotas de 60 ml foram retiradas dos sistemas para a realização das análises físico-químicas tanto para a ARL e a AC brutas, como para as diluições D1 e D2, nos laboratórios do grupo BioMA/UESC, em conformidade aos procedimentos do Manual APHA (1995).

3. Resultados e Discussão

3.1. Macrófitas aquáticas coletadas e identificadas

As macrófitas aquáticas coletadas tiveram amostras encaminhadas ao herbário da UESC, sendo identificadas como: *Pistia stratiotes* (coletada no Rio Cachoeira) e *Eichhornia paniculata* e a *Polygonum* sp. (coletadas no córrego afluente do Rio Cachoeira).

3.2. Água residuária de laticínio (ARL) e água da chuva (AC) coletadas no laticínio

Os resultados das análises físico-químicas da ARL, AC, D1 e D2 encontram-se na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados das análises físico-químicas dos efluentes brutos e das diluições

Material analisado	DQO (mg/L)	Sólidos Totais (mg/L)	Temperatura (°C)	pH
Água residuária de laticínio (ARL)	7.414,63	-	27,0	7
Água de chuva (AC)	176,61	-	27,0	7

D1 (70 % ARL + 30 % AC)	3.133,16	1,144	27,0	7
D2 (50 % ARL + 50 % AC)	2.506,53	0,859	26,0	7

3.3. Wetlands construídas

De acordo as macrófitas e as diluições utilizadas no experimento, montou-se os tratamentos conforme apresentados na Tabela 2. Sendo que os tratamentos X4 e Y4 são sistemas controles, ou seja, sem a presença de macrófitas aquáticas e foram utilizados como referência para comparação com os demais sistemas com vegetação.

Tabela 2 - Tratamentos com as macrófitas utilizados nas *wetlands* construídas

Wetland	Macrófita aquática	Diluição
X1	<i>Pistia stratiotes</i>	D1 (70 % ARL + 30 % AC)
X2	<i>Polygonum</i> sp.	
X3	<i>Eichhornia paniculata</i>	
X4	Controle (sem planta)	
Y1	<i>Pistia stratiotes</i>	D2 (50 % ARL + 50 % AC)
Y2	<i>Polygonum</i> sp.	
Y3	<i>Eichhornia paniculata</i>	
Y4	Controle (sem planta)	

Os resultados do pH (7,0) e da temperatura (entre 26,0 e 27,5°C) nas *wetlands* mantiveram-se estáveis, indicando condições favoráveis para o desenvolvimento das macrófitas aquáticas e dos microrganismos associados às raízes e rizomas, o que possibilitou as reações necessárias à degradação dos compostos orgânicos presentes no meio. Comparando os valores da Resolução CONAMA N° 430 com os obtidos, pode-se afirmar, em relação ao pH e temperatura, que o efluente de laticínio encontra-se dentro dos padrões legais de lançamentos de efluentes.

A *Pistia stratiotes* (X1 e Y1) perdeu viabilidade ao 6°, independentemente da diluição adotada. Indicando que ela não suportou os níveis de DQO ou os níveis de detergentes da ARL. Não foi indicado na literatura resultado semelhante, porém, os valores de DQO adotados na literatura são inferiores aos utilizados neste experimento, como: DQO inicial na faixa de 270 a 550 mg/L para o tratamento de esgoto doméstico (ZIMMELS et al. 2006) e DQO inicial de 206 mg/L para o efluente de piscicultura (AKINBILE, YUSOFF 2012),

ambos os casos os resultados foram satisfatórios na redução da carga orgânica e nutricional dos efluentes.

A *Polygonum* sp. e a *Eichhornia paniculata* se adaptaram bem em todos os tratamentos estabelecidos. A Tabela 3 apresenta os resultados medidos no 8º e no 16º dia do experimento para as análises de DQO nos diferentes tratamentos conduzidos em *wetlands* construídas, apresenta também valores de DBO estimados a partir da DQO, bem como, suas respectivas eficiências (%) de redução.

Tabela 3 - Análises físico-químicas e eficiências de redução em relação aos seus valores iniciais

		ANÁLISES E PERCENTUAIS DE REDUÇÃO									
		1º Dia (08/04/15)		8º Dia (16/04/15)				16º Dia (24/04/15)			
		DQO (mg/L)	DBO (mg/L) estimada*	DQO (mg/L)	Redução DQO (%)	DBO (mg/L) estimada*	Redução DBO (%)	DQO (mg/L)	Redução DQO (%)	DBO (mg/L) estimada*	Redução DBO (%)
WETLANDS	X1	3.133,16	1.219,13	-	-	-	-	-	-	-	-
	X2	3.133,16	1.219,13	392,16	87,5	248,20	79,6	568,89	82	360,06	70,5
	X3	3.133,16	1.219,13	313,73	90	198,56	83,7	746,67	76	472,57	61,2
	X4	3.133,16	1.219,13	941,18	70	595,68	51,1	711,11	77	450,07	63
	Y1	2.506,53	975,30	-	-	-	-	-	-	-	-
	Y2	2.506,53	975,30	862,75	65,5	546,04	44	586,67	76,5	371,31	61,9
	Y3	2.506,53	975,30	705,88	72	446,76	54,2	391,11	84,5	247,54	74,6
	Y4	2.506,53	975,30	941,18	62,5	595,68	38,9	924,44	63	585,09	40

* DBO estimada: coeficiente de correlação DQO/DBO do efluente de laticínios bruto= 2,57 e tratado= 1,58.

Fonte: (POKRYWIECKI et al. 2013).

Reportando Resolução CONAMA N° 430, que estabelece as condições de lançamento de efluentes, a DQO não consta como parâmetro, mas sim a DBO, por isso, estimou-se os valores da DBO e suas eficiências a partir dos resultados de DQO pesquisados (Tabela 3). A Resolução padroniza que para o lançamento do efluente deve haver redução mínima de 60 % da DBO inicial. Nas análises realizadas no 8º dia do experimento os tratamentos X2 (79,6 %) e X3 (83,7 %) foram os que ultrapassaram a redução mínima (60 %) de DBO exigida pela legislação brasileira. Os tratamentos Y2 e Y3 atingiram o referido valor de redução no 16º dia do experimento, assim como o sistema controle X4. Já o sistema controle Y4 não o atingiu em nenhuma etapa, provavelmente devido a variação do inóculo, contendo assim, menor quantidade de microrganismos naturalmente presentes no resíduo de laticínio.

No 16º dia do experimento constatou-se uma elevação da carga orgânica nas *wetlands* X2 e X3, que pode ser atribuída à queda de folhas e morte de raízes no interior dos sistemas e consequente aumento no valor da DQO. Este comportamento pode ter ocorrido devido à elevada redução nos níveis de DQO nestes sistemas, identificadas no 8º dia do experimento,

causando uma redução da concentração de nutrientes no substrato utilizado pelas plantas. Outro fator que pode ter contribuído para a queda de folhas no interior dos sistemas é o mecanismo de resposta, quando as plantas consideram que o ambiente é prejudicial ao seu desenvolvimento e, após depurarem o efluente, as plantas encaminham os componentes considerados tóxicos para folhas específicas e as descartam nos sistemas (IWA 2006; WOLVERTON, MCDONALD 1979) Estes dois fatores não foram observados nas *wetlands* com diluição D2 (Y2 e Y3), provavelmente, porque a concentração inicial do efluente foi menor, proporcionando uma redução de forma mais lenta e gradativa e ainda, gerando um ambiente considerado menos tóxico pelas plantas, com conseqüente menor queda de folhas.

Comparando os tratamentos vegetados (X2, X3, Y2 e Y3) e não vegetados (X4 e Y4), as taxas de redução mais elevadas da DQO ocorreram nas *wetlands* com vegetação, explicitando a capacidade superior de redução da matéria orgânica de tais sistemas.

As Figuras 3 e 4 descrevem o comportamento temporal das análises de sólidos totais para os sistemas X2, X3 e X4 e os sistemas Y2, Y3 e Y4, respectivamente, e evidenciam que a redução dos sólidos totais nos sistemas ocorreu até o 8º dia do experimento, exceto para a *wetland* Y2, que no mesmo dia registrou um pico de aumento no resultado da análise (Figura 4). O comportamento de aumento nos teores de sólidos totais repetiu-se para todos os sistemas nas análises realizadas nos 12º e 16º dias e justifica-se devido à renovação das folhas que caíram, decompuseram e acumularam-se na *wetlands*. Outro motivo foi uma interferência com o desenvolvimento de larvas de mosquitos em todos os sistemas a partir do 6º dia de experimento.

Figura 3 - Comportamento do teor de sólidos totais na diluição D1 (70 % ARL + 30 % AC)

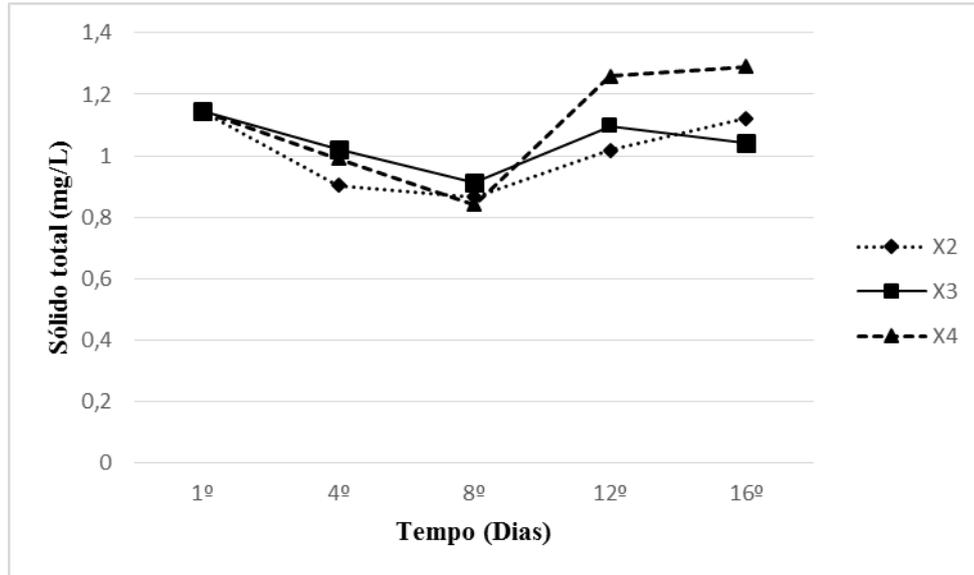
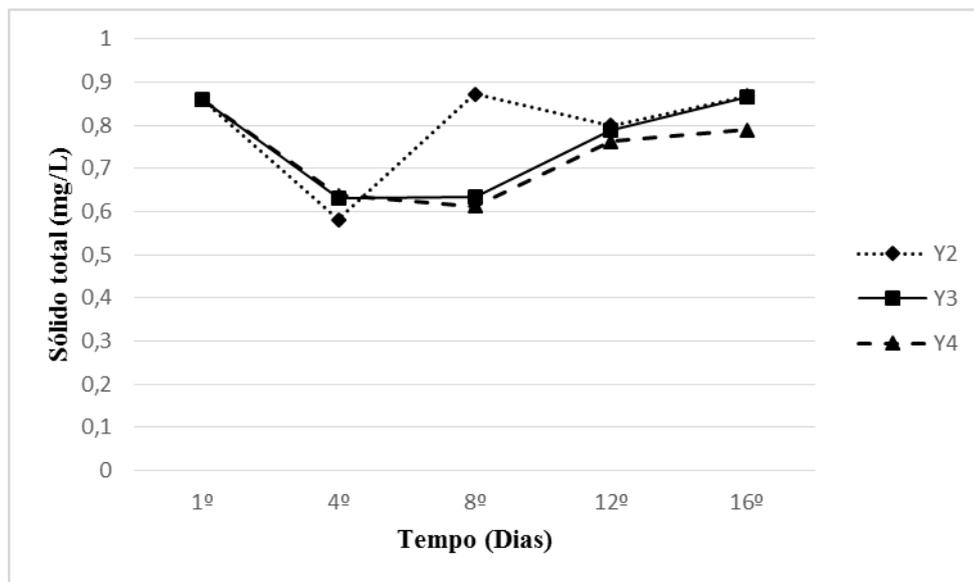


Figura 4 - Comportamento do teor de sólidos totais na diluição D2 (50 % ARL + 50 % AC)



Analisando as reduções nos teores de sólidos totais em relação ao valor inicial, para a diluição D1 no 8º dia (Figura 3), os seguintes resultados foram obtidos: X2= 24,2 %, X3= 20,3 % e X4= 26,4 %. A queda das folhas nas *wetlands* X2 e X3 reduziu a eficiência na diminuição de sólidos totais nestes sistemas, o que não ocorreu no sistema controle X4. Porém, no 4º dia a *Polygonum* sp. (X2) já havia alcançado valor próximo aos do 8º dia, que foi 21% de redução no teor de sólidos totais, sendo positivo por representar menor TRH, que é o tempo necessário de permanência do efluente na *wetland* construída para a realização do tratamento. Ainda no 4º dia do experimento aos sistemas X3 e X4 apresentaram 10,5 % e 13,5 % de reduções de sólidos, respectivamente.

Em D2 as maiores percentagens de reduções alcançadas para os teores dos sólidos totais foram no 4º dia do experimento, com valores de 32,2 % para a *Polygonum* sp. (Y2) e 26,4 % para a *Eichhornia paniculata* (Y3) em relação ao teor de sólidos inicial. O tratamento controle (Y4) alcançou uma taxa de redução de 25,7 % para as mesmas condições, o que demonstra que as reduções de sólidos totais entre os tratamentos com e sem vegetação foram semelhantes.

A *Polygonum* sp. foi a macrófita aquática que alcançou a maior taxa na redução no teor de sólidos totais, para o menor TRH nas duas diluições estudadas. Fazendo um comparativo das duas diluições nas análises do 4º dia, a *Polygonum* sp. obteve a maior percentagem de redução em D2 (Y2). Apesar de haver redução no teor de sólidos totais, os resultados estão abaixo do esperado. Lee et al. (2010) obtiveram valores de sólidos suspensos aquém do esperado quando inseriram o efluente na *wetland* de forma turbulenta. Neste experimento, o estado de repouso dos sistemas foi alterado após retirada mecânica das larvas de mosquitos por meio de uma peneira.

A partir do 15º dia foi observado que as macrófitas aquáticas começaram a morrer, tendo como provável motivo a diminuição da carga orgânica, sugerindo a necessidade de alimentação do sistema com efluentes. Outro aspecto importante foi a ausência de odores indesejáveis nos sistemas de água superficial livre, assim como Zimmels, Kirzhner e Malkovskaja (2006) constataram no tratamento de esgoto doméstico utilizando *wetlands*.

4. Conclusões

Os resultados experimentais apontam que as macrófitas aquáticas *Polygonum* sp. e *Eichhornia paniculata*, nativas do sul da Bahia, se adaptaram ao cultivo em *wetlands* construídas de fluxo superficial (com água superficial livre) e apresentaram reduções satisfatórias na carga orgânica do efluente, indicando o potencial de utilização destas macrófitas no tratamento de água residuária de laticínios. Por outro lado, a *Pistia stratiotes* não apresentou boa adaptação nos sistemas com a água residuária de laticínios não sendo recomendada para uso em *wetlands* construídas nas condições estudadas.

De acordo aos parâmetros físico-químicos avaliados nesta pesquisa, a ARL está dentro dos padrões de lançamento de efluentes preconizados pela legislação brasileira. Entretanto, além destes parâmetros, a Resolução CONAMA Nº 430 de 2011 (BRASIL 2011) estabelece que

para ser lançado em corpo receptor, o efluente também deve conter um máximo de 50 mg/L de óleos vegetais e gorduras animais e este parâmetro não foi avaliado.

Para evitar o desenvolvimento de larvas e proliferação de mosquitos recomenda-se a adoção de telas de proteção para *wetlands* construídas de fluxo superficial.

Agradecimentos

À Fapesb pela bolsa de estudos de doutorado e apoio financeiro com o Projeto SEMA/Fapesb PAM 0017/2014. Ao CNPq pela bolsa de estudos de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

A