

Desempenho da macrófita *Lemna valdiviana* no tratamento terciário de efluentes de suinocultura e sua contribuição para a sustentabilidade da atividade

Flávia de A. Tavares^{1*}

João Bosco R. Rodrigues²

Paulo Belli Filho¹

Maria A. Lobo-Recio¹

Flávio R. Lapolli¹

¹Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina
Caixa Postal 476, CEP 88010-970, Florianópolis – SC, Brasil

²Departamento de Aqüicultura, Universidade Federal de Santa Catarina
Caixa Postal 476, CEP 88010-970, Florianópolis – SC, Brasil

*Autora para correspondência
flaufsc@yahoo.com.br

Submetido em 07/03/2007

Aceito para publicação em 05/10/2007

Resumo

O presente trabalho visa contribuir com a sustentabilidade da suinocultura, avaliando o desempenho da macrófita aquática *Lemna valdiviana* no tratamento terciário de efluentes suínos. Cinco ensaios (1 a 5) foram realizados em triplicata, utilizando amostras de efluentes de suinocultura com teores iniciais de DQO (Demanda Química de Oxigênio) de 400, 550, 700, 850 e 1.000mg.L⁻¹, respectivamente. O experimento teve duração de 21 dias e as variáveis avaliadas foram: eficiência de remoção da carga poluente, produção de biomassa e teor protéico das plantas, em tempos de detenção de 7, 14 e 21 dias. De maneira geral, os Ensaios 1 e 2 (DQO de 400 e 550mg.L⁻¹) apresentaram as melhores eficiências de remoção no tempo de detenção de 21 dias. Quando se objetiva aliar a remoção de poluentes e a produção de biomassa com alto valor protéico, o ensaio 3 (DQO de 700mg.L⁻¹) em um tempo de retenção de 14 dias apresentou os melhores resultados (teor protéico de 36,81%). A utilização de lemnáceas no tratamento terciário de efluentes de suinocultura se mostra como uma alternativa viável, pois além de tratar o efluente, contribui para a diminuição do impacto ambiental e para o desenvolvimento sustentável da atividade, devido à geração de alimento com alto teor protéico.

Unitermos: dejetos suínos, remoção de nutrientes, produção de biomassa, lemnáceas

Abstract

Performance of the macrophyte *Lemna valdiviana* in tertiary pig waste treatment and its contribution to the sustainability of swine production. The present study aims to contribute to the sustainability of swine production by evaluating usage of the aquatic macrophyte *Lemna valdiviana* in the tertiary treatment of pig waste. Five assays (1 to 5) in triplicate were conducted using swine effluent with different COD (Chemical Oxygen Demand) concentrations: 400, 550, 700, 850 and 1,000mg.L⁻¹, respectively. The trial lasted for 21 days

and the evaluated variables were: (a) pollutant removal efficiency, (b) biomass production and (c) plant protein content under the different detention times of 7, 14 and 21 days. In general, assays 1 and 2 (CODs of 400 and 550mg.L⁻¹) presented the best removal efficiencies under a detention time of 21 days. Regarding the purpose of both nutrient removal and production of high protein biomass, assay 3 (COD of 700mg.L⁻¹) showed the best results under 14 days' detention time (36.81% crude protein). It was established that the use of duckweeds in the tertiary swine waste treatment was able to provide a sustainable alternative regarding its advantages such as effluent polishing, minimization of environmental impact, and production of high protein feed.

Key words: swine waste, nutrient removal, biomass production, duckweeds

Introdução

A suinocultura no Brasil tem sido uma atividade desenvolvida basicamente em pequenas propriedades rurais, sendo as quais responsáveis por uma produção de aproximadamente 2.698.000 toneladas no ano de 2003 (ICEPA, 2003). Em termos mundiais, o Brasil ocupa a 4ª posição em exportação de carne suína, participando, com 12,2% do mercado internacional no ano de 2002, totalizando um faturamento de US\$ 481 milhões referente a 476 mil toneladas exportadas (Hadlich, 2004). O Estado de Santa Catarina, maior produtor de suínos da América Latina, possui cerca de 4,5 milhões de cabeças localizadas em sua maior parte na região Oeste, onde se adota sistemas confinados de produção (Miranda et al., 1999). A produção no Estado é distribuída basicamente em pequenas e médias propriedades, gerando 10⁷m³ de dejetos ao ano (Belli Filho et al., 2001).

A suinocultura, na visão de Brasil (2002), é dentre as atividades ligadas à pecuária, a mais nociva ao meio ambiente quando levamos em consideração a produção de efluentes e o tipo de criação, onde geralmente os animais são submetidos a sistemas de confinamento favorecendo a produção econômica, mas em contrapartida aumentando os efeitos danosos ao ambiente. O sistema confinado, de uma forma geral, facilita a coleta e o armazenamento dos dejetos suínos para posterior tratamento e/ou utilização. Dalla Costa et al. (2000) apontam o sistema confinado de produção como o de maior impacto local.

Roesler e Cesconeto (2003) afirmam que a poluição é originada principalmente pelo lançamento direto do dejetos de suínos sem o devido tratamento nos cursos de água, que acarreta desequilíbrios ecológicos e poluição em função da redução do teor de oxigênio dissol-

vido, disseminação de patógenos e contaminação com amônia, nitratos e outros elementos tóxicos. Segundo Lysterly (2004), os efluentes de suinocultura apresentam alto teor de matéria orgânica e nutrientes. A concentração de DQO_t comumente encontrada no efluente bruto varia entre 3.000 e 9.000 mg.L⁻¹, sendo muito mais elevada que no esgoto doméstico, que apresenta por volta de 500 mg. L⁻¹.

De acordo com Monteiro (2005), o reconhecimento do prejuízo causado é essencial para servir de parâmetro controlador da ação antrópica ao meio ambiente, assim como contribui para o desenvolvimento das ações mitigadoras. Diante desta situação de crescentes problemas ambientais, a valorização da teoria de desenvolvimento sustentável se destaca como uma estratégia alternativa que subsidia o implemento e aplicação de tecnologias para minimizarem os impactos e, dependendo do tipo de manejo empregado, agregar valores à propriedade.

Perdomo et al. (2003) afirmam que vários são os processos de tratamento para os dejetos com alta concentração de matéria orgânica, sendo que as principais técnicas costumam combinar processos físicos e biológicos de tratamento. A utilização de sistemas anaeróbios para tratamento de dejetos é fundamentada na relação custo benefício para o suinocultor, haja vista a possibilidade de se agregar valores à criação através dos insumos produzidos pelo manejo adequado, como por exemplo, o condicionamento do solo aplicando o lodo das unidades, geração de energia através do biogás e produção de macrófitas de superfície (lemnas), para a alimentação de peixes.

Dentre os sistemas utilizados no tratamento anaeróbio dos efluentes de suinocultura, destacam-se os biodigestores e as lagoas de armazenamento. Geralmente

podem ser arranjados em série, onde o biodigestor atua no tratamento primário dos efluentes e as lagoas de armazenamento, no tratamento secundário.

O pós-tratamento (tratamento terciário) de efluentes das lagoas de armazenamento visa melhorar a qualidade do efluente, reduzindo a quantidade de sólidos em suspensão (algas) e nutrientes presentes no mesmo, implicando na elevação dos custos e na complexidade do tratamento. Uma alternativa viável e capaz de gerar uma fonte de renda adicional para os suinocultores, seria a utilização de lemnáceas no tratamento dos efluentes. O uso de lemnáceas na remoção de nutrientes de esgoto sanitário, efluentes líquidos de suinocultura e industriais tem sido proposto por Decamp e Warren (2000), Ayaz e Akca (2001), Coleman (2001) e Rodrigues et al. (2005).

De acordo com Ran et al. (2004), as plantas da família *Lemnaceae* apresentam excelentes resultados na redução dos níveis de poluentes contidos em águas residuais como Nitrogênio amoniacal, PO_4^{3-} , DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), DQO (Demanda Química de Oxigênio), SS (sólidos suspensos), coliformes e metais pesados. Além disso, apresentam algumas vantagens como: alta produção de biomassa, alto teor protéico, baixa quantidade de fibras e possibilidade de utilização da biomassa na alimentação animal. Esses fatores fazem com que os sistemas de lemnáceas sejam uma boa alternativa para tratamento e reúso de efluentes de lagoas de armazenamento.

Considerando que o efluente suinícola tratado por processos anaeróbios apresenta um teor de matéria orgânica por volta de 800 mg.L^{-1} de DQO, torna-se possível a utilização de lemnáceas no tratamento terciário dos mesmos (Lyerly, 2004).

Visando a sustentabilidade da atividade em questão, o presente estudo teve como objetivo principal avaliar o desempenho das lemnáceas no tratamento terciário de efluentes de suinocultura considerando a produção de biomassa e o teor protéico das plantas. Sendo assim, diferentes concentrações orgânicas medidas em DQO (Demanda Química de Oxigênio) foram testadas sob tempos de detenção pré-determinados.

Material e Métodos

Descrição da área de estudo

O estudo foi realizado no Departamento de Aqüicultura da Universidade Federal de Santa Catarina, durante o verão de 2004 e teve duração de 21 dias.

A instalação utilizada para a realização do experimento era um galpão composto de piso de concreto e telhas de amianto, sendo totalmente aberto dos lados. O dejetos suíno bruto utilizado para o experimento foi coletado na Fazenda da Ressacada da Universidade Federal de Santa Catarina localizada no bairro do Campeche, em Florianópolis. O dejetos bruto apresentou uma concentração de DQO de 13 g/L (13.000 mg.L^{-1}). Com o intuito de se obter uma digestão anaeróbia prévia, o dejetos suíno bruto foi mantido em um container plástico (25L), opaco e lacrado em condição de anaerobiose por 45 dias. Após este período, o dejetos já apresentou uma concentração de DQO de 1.690 mg.L^{-1} (remoção de 87%).

Sendo assim, foram realizadas diluições do dejetos pré-tratado com água para se chegar às concentrações de DQO estabelecidas no início do experimento.

Delineamento experimental

Cinco ensaios foram desenvolvidos em triplicata com o efluente em diferentes concentrações de DQO: amostra 1, 400; amostra 2, 550; amostra 3, 700; amostra 4, 850 e amostra 5, 1000 mg.L^{-1} .

As unidades experimentais constaram de 15 caixas plásticas da cor branca com capacidade para 50L ($15 \text{ cm} \times 57 \text{ cm} \times 57 \text{ cm}$), que foram distribuídas aleatoriamente uma ao lado da outra. A temperatura média durante os 21 dias de ensaio foi de $25,4^\circ\text{C}$. É importante salientar que as caixas estavam protegidas da chuva, mas foram submetidas às variações de temperatura e luminosidade, pois o galpão experimental era aberto dos lados.

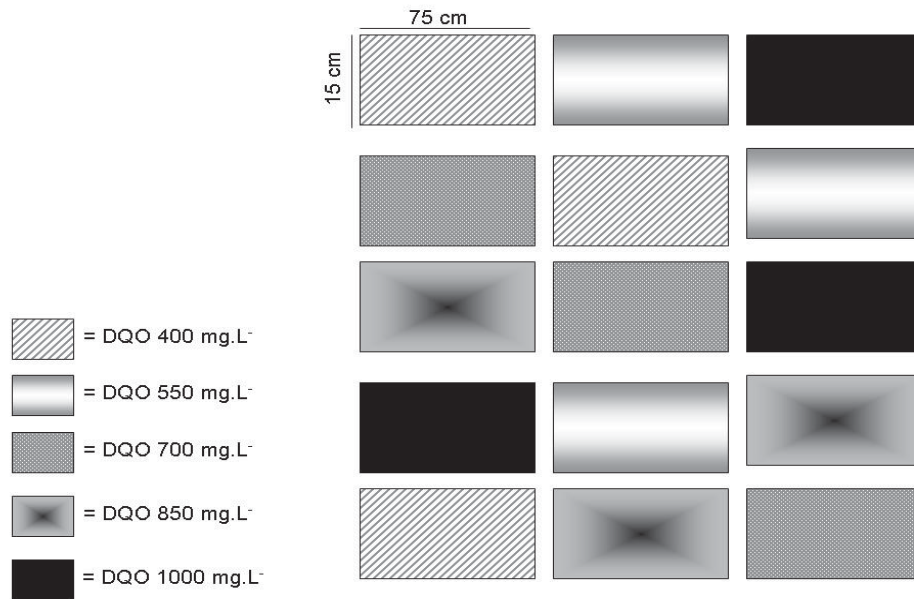


FIGURA 1: Desenho esquemático da distribuição aleatória das caixas no galpão experimental.

Variáveis analisadas

Remoção de agentes poluidores e nutrientes

Foram realizadas 4 coletas ao longo do período experimental. A primeira foi realizada no início do experimento e as demais aos 7, 14 e 21 dias de detenção. O efluente presente nas caixas era homogeneizado antes de cada coleta com uma estaca de madeira e com o auxílio de garrafas tipo “pet” era coletado e armazenado.

As variáveis analisadas foram: nitrogênio amoniacal, NO_2^- , NO_3^- , DQO, sólidos suspensos, sólidos totais, ortofosfato solúvel e turbidez, sendo todas as análises efetuadas no Laboratório Integrado de Meio Ambiente (LIMA/ENS/UFSC), seguindo as normas do Standard Methods of Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). Os equipamentos utilizados nas análises foram os seguintes: espectrofotômetro Hach DR 2000, Estufa Quimis, Mufla Quimis, Balança eletrônica de alta precisão Marte série AL S, digestores para DQO Hach.

Com o intuito de se avaliar se as diferentes concentrações DQO (400, 550, 700, 850 e 1.000mg.L⁻¹) influenciaram na remoção de cada variável analisada,

os dados relativos à eficiência de remoção pelas plantas aos 7, 14, 21 e total foram submetidos à Análise de Variância com o auxílio do programa Sigma Stat. O teste pos-hoc de Tukey foi aplicado para comparação de médias, quando necessário. O nível de significância adotado foi de 5%.

Produção de biomassa

No início do período experimental, as caixas foram estocadas com a mesma quantidade de lemnas, previamente estipulada (130g/caixa). Com o intuito de se determinar a quantidade produzida, a biomassa total presente nas caixas era retirada e pesada a cada dois dias. A biomassa inicial (130g) subtraída da biomassa total determinava a biomassa produzida. Finalmente, pesava-se apenas a quantidade inicial (130g) que era novamente colocada nas caixas. Foi utilizada uma balança eletrônica de precisão da marca Marte (modelo LC1) para a realização das pesagens.

No processo de pesagem, a água excedente presente na biomassa de lemnas era parcialmente retirada com o auxílio de uma peneira. As lemnas encontravam-se na sua forma natural, com teor de umidade normal, em torno de 90%.

Com o objetivo de se determinar a relação do tempo de detenção das amostras com a produção de biomassa de lemnas em cada ensaio, o total de lemnas produzido em cada semana durante o período experimental (3 semanas) foi somado e comparado. Dessa forma, foi possível se determinar a variação do crescimento das plantas ao longo dos 21 dias de experimento nos diferentes ensaios. Considerando a influência das cinco diferentes concentrações de DQO (400, 550, 700, 850 e 1.000mg.L⁻¹) na produção de biomassa, os dados relativos à produção de biomassa aos 7, 14, 21 e total foram submetidos à Análise de Variância com o auxílio do programa Sigma Stat. O teste pos-hoc de Tukey foi aplicado para comparação de médias, quando necessário. O nível de significância adotado foi de 5%.

Teor protéico das plantas

Para a avaliação do valor nutricional das lemnas, foram realizadas 3 coletas em diferentes tempos de detenção (7, 14 e 21 dias). O material foi coletado da superfície de cada unidade experimental com o auxílio de uma peneira plástica, seco ao sol e posteriormente seco em estufa a 50°C por 4 horas, condições necessárias para que a biomassa atingisse o peso constante. Sendo assim, todo o material seco foi posteriormente moído para ser submetido à análise de proteína pelo método Kjeldhal no LAPAD – Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Os resultados foram determinados através da fórmula $N \times 6,25$ e expressos em porcentagem de proteína, seguindo as normas da AOAC (1999).

Considerando que o teor protéico das plantas é de extrema importância quando o objetivo é a utilização da biomassa na alimentação animal, torna-se necessário avaliar a influência da concentração de matéria orgânica no comportamento desta variável. Sendo assim, os dados relativos ao teor protéico das plantas submetidas aos cinco tratamentos (400, 550, 700, 850 e 1.000mg.L⁻¹) nos tempos de detenção de 7, 14 e 21 dias foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) com o auxílio do programa Sigma Stat 2.0. O teste pos-hoc de Tukey foi aplicado para comparação de médias, quando necessário. O nível de significância adotado foi de 5%.

Resultados

Remoção de agentes poluidores e nutrientes

As eficiências de remoção de nutrientes e agentes poluidores pelas lemnáceas nos diferentes ensaios, bem como as variáveis analisadas estão descritas nas tabelas 1 e 2.

Considerando a variável DQO, o ensaio 1 (400mg.L⁻¹ de DQO inicial) apresentou a melhor eficiência de remoção aos 7 dias de detenção: 60,17% ($p < 0,05$). Aos 14 dias, os ensaios 1 e 2 apresentaram eficiências de remoção de 73,38% e 72,48%, respectivamente, estatisticamente maiores do que os demais ($p < 0,05$). Após 21 dias, o ensaio 1 novamente apresentou valores maiores que os demais (94,89%).

A maior eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal ocorreu no ensaio 1 sob tempos de detenção de 7 e 14 dias. Aos 21 dias, o ensaio 2 (550mg.L⁻¹ de DQO) apresentou os maiores valores. Pode-se notar no presente estudo que houve um acréscimo da na remoção de nitrogênio amoniacal com o aumento do tempo de detenção.

A remoção de nitrito do sistema foi relativamente alta. Em um tempo de detenção de 21 dias, os ensaios 1 e 2 (DQO inicial de 400 e 550mg.L⁻¹) apresentaram as menores concentrações, sendo 0,03 e 0,05mg.L⁻¹, respectivamente.

No presente estudo, devido provavelmente à maior carga do dejetos suíno em relação ao esgoto doméstico e à retirada das lemnas a cada dois dias, foram atingidas remoções de fosfato superiores a 50% somente após 3 semanas de experimento, sendo obtidos os melhores resultados nos ensaios 2 e 3.

A maior eficiência de remoção de sólidos suspensos encontrada ao final de 21 dias foi de 75,29% no ensaio 1 e a menor, de 38,83%, no ensaio 5.

Analisando o teor de sólidos totais, conclui-se que o ensaio 1 apresentou maior eficiência de remoção ao longo de todo o período experimental (7, 14 e 21 dias de detenção).

TABELA 1: Valores médios (mg.L⁻¹), desvio padrão e eficiência de remoção média (%) das variáveis analisadas através do tratamento terciário de efluentes de suinocultura com a macrófita aquática *Lemna valdiviana* em 5 concentrações de DQO (400, 550, 700, 850, 1.000 mg. L⁻¹) sob tempos de detenção 7, 14 e 21 dias (n= 45).

Início	7 dias		14 dias		21 dias		
Ensaio/ (mg.L ⁻¹ DQO)	Teor inicial (mg.L ⁻¹)	Teor (mg.L ⁻¹)	Eficiência de remoção (%)	Teor (mg.L ⁻¹)	Eficiência de remoção (%)	Teor (mg.L ⁻¹)	Eficiência de remoção (%)
DQO							
Ensaio 1/400	400±0,3	159,30± 2,26	-60,1 ± 0,56^a	106,44± 1,27	-73,3 ± 0,31^a	20,40± 1,24	-94,8 ± 0,28^A
Ensaio 2/550	550±0,9	430,86± 1,20	-21,6 ± 0,21^b	151,35± 0,98	-72,4 ± 0,17^a	39,73± 1,00	-92,7 ± 0,18^B
Ensaio 3/700	700±1,2	630,53± 2,73	-9,9 ± 0,39^c	256,59± 3,64	-63,3 ± 0,52^b	191,73± 1,65	-72,6 ± 0,23^C
Ensaio 4/850	850±2,4	731,13± 2,66	-3,9 ± 0,31^d	316,46± 1,30	-62, ± 0,15^b	208,40± 11,6	-75,6 ± 1,36^D
Ensaio 5/1000	1000±0,4	944,46± 6,12	-5,5 ± 0,61^e	493,40± 4,84	-50,6 ± 0,48^c	301,53± 1,15	-69,8 ± 0,11^E
NITROGÊNIO AMONICAL							
Ensaio 1/400	7,69±0,05	3,62± 0,02	-52,9 ± 0,31^b	1,72± 0,02	-77,6 ± 0,23^a	1,07± 0,01	-86,0 ± 0,12^A
Ensaio 2/550	11,82±0,05	9,28± 0,05	-21,4 ± 0,84^c	3,59± 0,04	-69,6 ± 0,38^b	1,28± 0,01	-89,1 ± 0,13^B
Ensaio 3/700	14,98±0,3	12,31± 0,05	-17,8 ± 1,36^d	8,88± 0,01	-40,6 ± 1,20^c	4,22± 0,02	-71,8 ± 0,64^C
Ensaio 4/850	16,70±0,24	16,40± 0,31	-1,8 ± 0,48^a	10,86± 0,12	-34,9 ± 0,49^d	8,92± 0,17	-46,6 ± 0,46^D
Ensaio 5/1000	17,26±0,36	16,99± 0,50	-1,5 ± 1,26^a	13,66± 0,26	-20,8 ± 2,74^e	11,52± 0,03	-33,2 ± 1,21^E
NITRITO							
Ensaio 1/400	0,21±0,01	0,31± 0,01	+47,61±0,79^a	0,04± 0,01	-79,94 ±0,2^a	0,03± 0,02	-83,11±0,65^A
Ensaio 2/550	0,33±0,01	0,18± 0,05	-44,47 ±0,65^{ab}	0,06± 0,02	-80,76 ±0,5^a	0,05± 0,02	-84,83±0,24^A
Ensaio 3/700	0,47±0,02	0,08± 0,01	-83,08 ±0,25^c	0,08± 0,01	-81,69 ±0,47^a	0,17± 0,03	-63,35±0,15^B
Ensaio 4/850	0,59±0,03	0,06± 0,05	-88,68 ±0,36^{cd}	0,14± 0,02	-75,71 ±0,15^b	0,16± 0,01	-72,30±0,02^C
Ensaio 5/1000	0,73±0,01	0,54± 0,06	-25,02 ±0,24^e	0,14± 0,02	-79,91± 0,3^a	0,15± 0,01	-8,99± 0,57^D
NITRATO							
Ensaio 1/400	0,38±0,06	2,67± 0,17	+602,6± 0,25^a	2,42± 0,01	-9,36±0,8^a	0,00± 0,02	-100,0±0,3^A
Ensaio 2/550	0,73±0,03	4,22± 0,01	+478,0± 0,01^b	3,27± 0,03	-22,5±1,1^b	3,63±0,03	+11,0±1,3^B
Ensaio 3/700	1,25±0,01	3,50± 0,02	+180,2± 0,02^c	7,46± 0,02	+113,14±0,35^c	2,30± 0,01	-69,1±0,35^C
Ensaio 4/850	1,26±0,05	6,43± 0,02	+410,3± 0,02^d	8,83± 0,05	+37,3±0,25^d	4,61± 0,02	-47,7±0,8^D
Ensaio 5/1000	2,69±0,02	5,92± 0,06	+120,0± 0,06^e	8,11± 0,01	+36,9±0,41^d	7,17± 0,02	-11,5±1,6^E
ORTOFOSFATO SOLÚVEL							
Ensaio 1/400	10,83±1,01	9,95± 0,09	-8,1 ± 1,12^b	8,95± 0,15	-16,8 ± 7,05^d	5,36± 0,07	-50,2 ± 4,94^A
Ensaio 2/550	13,36±0,61	11,38± 0,08	-4,7 ± 3,43^c	13,16± 0,28	-1,4 ± 2,80^c	4,46± 0,04	-66,5 ± 1,25^B
Ensaio 3/700	16,29±0,3	12,20± 0,25	-25,0 ± 1,35^d	9,45± 0,07	-41,9 ± 1,48^{ab}	5,63± 0,17	-65,4 ± 0,49^B
Ensaio 4/850	17,13±0,02	16,64± 0,14	-2,9 ± 0,74^a	11,48± 0,20	-32,9 ± 1,08^b	7,87± 0,04	-54,0 ± 0,24^D
Ensaio 5/1000	17,66±0,41	16,60± 0,15	-5,9 ± 2,03^a	9,43± 0,99	-46,4 ± 3,95^a	8,48± 0,18	-51,9 ± 1,70^A
SÓLIDOS SUSPENSOS							
Ensaio 1/400	133,3±2,0	101,4± 0,9	-23,9 ± 0,71^a	77,0± 0,4	-42,2 ± 0,27^a	32,9± 0,7	-75,2 ± 0,54^A
Ensaio 2/550	299,7±1,3	282,7± 1,0	-5,6 ± 0,34^b	181,4± 1,1	-39,4 ± 0,36^b	100,0±0,2	-66,6 ± 0,08^B
Ensaio 3/700	465,7±0,8	441,8± 1,1	-5,1 ± 0,24^b	351,9± 1,6	-24,4 ± 1,93^c	179,3±3,2	-61,4 ± 0,70^C
Ensaio 4/850	631,7±1,7	572,7± 0,9	-9,3 ± 0,15^c	499,5± 0,7	-20,9 ± 0,11^d	297,7± 7,0	-52,8 ± 1,11^D
Ensaio 5/1000	833,4±2,3	799,8± 1,8	-22,6 ± 0,17^a	731,5± 1,9	-29,2 ± 0,19^c	632,1± 1,0	-38,8 ± 0,12^E
SÓLIDOS TOTAIS							
Ensaio 1/400	290,2±2,7	111,6± 3,7	-61,4 ± 1,30^c	78,4± 0,6	-73,6 ± 0,20^a	66,5± 1,3	-77,0 ± 0,45^C
Ensaio 2/550	650,1±1,8	330,1± 1,0	-49,2 ± 0,15^a	299,2± 0,6	-53,9 ± 0,10^b	261,8± 4,0	-59,7 ± 0,61^B
Ensaio 3/700	1000,5±0,3	503,3± 3,5	-49,6 ± 0,35^a	487,5± 11,6	-51,2 ± 1,16^c	366,8± 8,1	-63,3 ± 0,81^A
Ensaio 4/850	1200,7±4,0	661,6± 3,7	-44,8 ± 0,31^b	433,0± 6,2	-63,9 ± 0,52^d	457,5± 9,1	-61,8 ± 0,75^{AB}
Ensaio 5/1000	1590,1±3,1	861,0± 4,3	-45,8 ± 0,27^b	641,0± 2,1	-59,6 ± 0,12^c	591,6± 11,	-62,7 ± 0,76^A

* A análises estatísticas realizadas aos 7, 14 e 21 dias de detenção estão indicadas como: a, a e A, respectivamente.

TABELA 2: Valores médios, desvio padrão (U.N.T.) e eficiência de remoção (%) da variável turbidez analisada através do tratamento terciário de efluentes de suinocultura com a macrófita aquática *Lemna valdiviana* em 5 concentrações de DQO (400, 550, 700, 850, 1.000mg. L⁻¹) sob tempos de detenção 7, 14 e 21 dias (n= 45).

Ensaio/ (mg.L ⁻¹ DQO)	Início	7 dias		14 dias		21 dias	
	Teor inicial (U.N.T.)	Teor (U.N.T.)	Eficiência de remoção (%)	Teor (U.N.T.)	Eficiência de remoção (%)	Teor (U.N.T.)	Eficiência de remoção (%)
TURBIDEZ (U.N.T.)							
Ensaio 1/400	247±1,1	86,3± 1,21	65,06 ±0,4^a	35,1± 0,8	85,70±2,1^a	4,7± 0,1	98,06± 1,3^A
Ensaio 2/550	367±0,3	182,8± 2,4	50,17 ±0,6^b	42,2± 0,2	88,49 ±1,5^b	18,5± 1,0	94,95± 0,3^B
Ensaio 3/700	407±1,3	265,2± 1,3	34,83± 1,25^c	63,3± 0,5	84,42± 0,2^a	22,3± 1,0	94,50± 2,5^B
Ensaio 4/850	436±0,5	348,7± 0,8	20,01± 0,82^d	71,4± 1,1	83,62± 0,3^a	25,4± 0,4	94,15± 1,1^B
Ensaio 5/1000	450±0,3	397,6± 0,5	11,63± 2,1^e	103,2± 5,8	77,05± 2,3^c	30,3± 1,6	93,25± 1,7^B

* A análises estatísticas realizadas aos 7, 14 e 21 dias de detenção estão indicadas como: **a**, *a* e **A**, respectivamente.

Conforme descrito na tabela 2, o ensaio 1 apresentou os menores valores de turbidez (4,77 U.N.T.) aos 21 dias de detenção. A eficiência de remoção dos demais ensaios foi estatisticamente semelhante.

Produção de biomassa de lemnas

Os dados apresentados na tabela 3 referem-se à biomassa de lemnas produzida em cada ensaio durante

as três semanas do período experimental e à quantidade total produzida pelos ensaios 1, 2, 3, 4 e 5 ao final do experimento.

Teor protéico das lemnas

Os teores protéicos das lemnas obtidos nos diferentes ensaios e tempos de detenção estudados estão indicados na tabela 4.

TABELA 3: Biomassa média de *Lemna valdiviana* produzida em 5 concentrações de DQO (400, 550, 700, 850, 1.000mg. L⁻¹) sob tempos de detenção 7, 14 e 21 dias (n= 45).

Ensaio	DQO (mg.L ⁻¹)	Biomassa produzida (g)			
		7 dias	14 dias	21 dias	Total
1	400	278,8±0,8 ^a	154,1±0,9 ^a	63,8±0,82 ^A	496,7±2,02 ^d
2	550	230,3±2,1 ^b	196,4±1,3 ^b	140,2±1,15 ^B	566,9±1,8 ^B
3	700	233,5±1,05 ^c	225,2±2,8 ^c	163,6±0,74 ^C	622,3±1,65 ^C
4	850	177,5±1,51 ^d	255,5±1,4 ^d	165,8±1,3 ^C	598,8±1,23 ^D
5	1000	122,1±1,81 ^e	212,9±3,1 ^c	138,1±2,4 ^D	473,1±2,27 ^E

* As análises estatísticas realizadas aos 7, 14 e 21 dias de detenção e total estão indicadas como: **a**, *a*, **A** e **A**, respectivamente.

TABELA 4: Teor protéico médio da macrófita *Lemna valdiviana* cultivada em 5 concentrações de DQO (400, 550, 700, 850, 1.000mg. L⁻¹) sob tempos de detenção 7, 14 e 21 dias (n= 45).

Ensaio	DQO (mg.L ⁻¹)	Teor protéico das plantas (%)		
		7 dias	14 dias	21 dias
1	400	36,47±0,66 ^a	29,13±0,75 ^a	18,65±0,25 ^A
2	550	37,35±0,87 ^b	34,26±1,52 ^b	24,97±0,75 ^B
3	700	37,78±0,71 ^c	36,81±0,50 ^c	29,47±0,37 ^C
4	850	39,55±1,25 ^d	36,81±0,30 ^c	32,70±0,56 ^D
5	1000	37,89±0,30 ^e	37,18±0,55 ^c	32,80±0,66 ^D

* As análises estatísticas realizadas aos 7, 14 e 21 dias de detenção estão indicadas como: **a**, *a* e **A**, respectivamente.

Discussão

Remoção de agentes poluidores e nutrientes

Considerando a variável DQO, Oron et al. (1987) obtiveram uma eficiência de remoção de 66,5% em 5 dias e 73,4% em 10 dias, utilizando *Lemna gibba* no tratamento de esgoto doméstico (DQO de 500 a 750mg.L⁻¹). No presente trabalho, utilizando uma concentração semelhante (DQO de 700mg.L⁻¹) e tempo de detenção de 14 dias, obteve-se 63,3% de remoção. Destaca-se que durante o experimento a biomassa foi retirada a cada dois dias e, portanto, os resultados obtidos no presente estudo assemelham-se aos deste autor. Com a retirada periódica da biomassa, as bactérias presentes nas raízes das plantas também são eliminadas, ocorrendo uma diminuição na eficiência de remoção. Segundo Al-Nozaily et al. (2000), as raízes das lemnáceas servem de substrato para o crescimento de bactérias que auxiliam na degradação da matéria orgânica. Nesse tipo de sistema, a matéria orgânica é primeiramente removida através de processos aeróbios, com a oxidação da mesma por bactérias heterotróficas. Para tal, é necessária a difusão de oxigênio para as raízes das plantas. Rao (1986) afirma que as macrófitas aquáticas agem como biofiltros, favorecendo a fixação e crescimento de bactérias heterotróficas.

Além disso, foi observado durante o estudo que um efluente com alta concentração de matéria orgânica exerce efeito tóxico sobre as plantas. As mesmas tornam-se amareladas, as raízes esbranquiçadas e permanecem aglomeradas. Segundo Korner e Vermaat (1998), com o aumento da concentração de matéria orgânica, ocorre a formação de um biofilme nas raízes das plantas, prejudicando a absorção de nutrientes e crescimento das mesmas.

A utilização de lemnáceas na remoção de amônia de efluentes é considerada uma boa alternativa, pois o nutriente não é perdido e a biomassa gerada é rica em proteína (Oron et al., 1988). Porém, deve-se ressaltar que além da absorção direta pela planta, também ocorrem processos de volatilização e desnitrificação, que são responsáveis pela maior remoção do nitrogênio presente no efluente (Vermatt e Hanif, 1998).

No presente estudo, provavelmente devido à ocorrência do processo de nitrificação, houve em geral um incremento de nitrato no sistema e conseqüente diminuição de nitrito. Assim, nos ensaios 3, 4 e 5, com maior teor inicial de nitrato e nitrogênio amoniacal, a concentração de nitrato foi crescente até os 14 dias e após este período começou a diminuir gradativamente.

Após 14 dias de detenção, o nitrato começou a ser removido do sistema, sugerindo a ocorrência do processo de desnitrificação e assimilação pelas lemnáceas. Segundo Zimmo et al. (2004), o processo de absorção pelas plantas é o principal mecanismo de remoção de nitrogênio em sistemas com lemnáceas. Os mesmos autores ainda afirmam que o processo de desnitrificação pode ocorrer em sistemas compostos por estas macrófitas na região das raízes ou nas paredes dos tanques onde existe a formação de um biofilme.

De acordo com Ran et al. (2004), a assimilação de nitrogênio pelas plantas diminui com o aumento da carga orgânica do efluente, afirmação que está de acordo com os resultados obtidos no presente estudo, onde o Ensaio 1 e 2, com menor concentração orgânica apresentaram a maior eficiência de remoção de compostos nitrogenados.

O fósforo, por sua vez, pode ser removido através de alguns mecanismos, tais como assimilação pelas plantas, precipitação, adsorção sobre partículas de argila e matéria orgânica. Segundo Iqbal (1999), a capacidade de absorção de fósforo pelas plantas depende da frequência de coleta, taxa de crescimento e disponibilidade do fósforo na forma de ortofosfato, que é a forma mais assimilável pelas plantas. Em um estudo realizado por Carvalho-Knighton et al. (2004) utilizando lemnáceas na remoção de nutrientes de esgoto doméstico (DQO de 352mg.L⁻¹), obteve-se uma remoção de ortofosfato de 50% em um tempo de retenção de 6 dias. Lyerly (2004) obteve uma eficiência de remoção 63% de ortofosfato em efluentes de suinocultura (DQO de 940mg.L⁻¹) em um tempo de detenção de 10 dias. Entretanto, no presente estudo, obteve-se uma eficiência de remoção de 50,2% aos 21 dias de detenção (Ensaio 1 - DQO de 400mg.L⁻¹).

Considerando a remoção de sólidos suspensos, o aumento da concentração de matéria orgânica no meio leva a um conseqüente aumento dos mesmos no efluen-

te. Como são compostos basicamente por algas, a introdução de lemnáceas no sistema causa a morte das mesmas. Segundo Iqbal (1999), a densa manta de lemnas que recobre a superfície da água impede a penetração de luz na coluna de água, impedindo o crescimento de algas. Além disso, com o aumento do tempo de detenção, a produção de biomassa de lemnas aumenta, levando a um maior sombreamento do sistema. Por esta razão, ocorre a diminuição na quantidade de algas do efluente, reduzindo o teor de sólidos suspensos do mesmo.

O alto teor de sólidos suspensos nos ensaios 4 e 5 ao final de 21 dias é explicado pela grande quantidade de algas nestas amostras que morreram com a presença de lemnáceas. Segundo Dalu e Ndamba (2003), quando uma grande quantidade de algas se decompõe, a concentração de sólidos suspensos no efluente tende a aumentar.

Devido ao fato dos sólidos suspensos fazerem parte da composição dos sólidos totais, a afirmação dos autores Dalu e Ndamba (2003) também se aplica a este parâmetro. Sendo assim, nota-se que a maior eficiência de remoção ocorreu no Ensaio 1. Ran et al. (2004), utilizando sistemas de wetland com *Lemna gibba*, obtiveram uma eficiência de remoção de sólidos totais de 79,8%, para um efluente com DQO de 298,2mg.L⁻¹ em 4 dias, resultados semelhantes aos encontrados no ensaio 1 (7 dias de detenção) do presente estudo.

No que refere-se à turbidez, Dalu e Ndamba (2003) afirmam que esta variável mede a clareza da água. Sendo assim, as lemnáceas ao inibirem o crescimento de algas, reduzem a produção de detritos conseqüente da morte das mesmas, o que causaria aumento na turbidez. Os resultados de remoção deste parâmetro obtidos no estudo em questão são similares aos encontrados por Ran et al. (2004), que obtiveram uma eficiência de remoção da turbidez de 51% em 4 dias, para um efluente com uma concentração de DQO inicial de 298,2mg.L⁻¹. No presente estudo, obteve-se uma redução da turbidez em 65,06% aos 7 dias de detenção, no ensaio 1 (400mg.L⁻¹). Porém, vale ressaltar que a remoção da turbidez foi alta em todos os ensaios, atingindo valores próximos de 100% aos 21 dias de detenção.

As baixas eficiências de remoção da turbidez obtidas nos ensaios 3, 4 e 5 podem ser explicadas pela

maior concentração orgânica dos efluentes, que apresentam uma maior quantidade de detritos produzidos pela morte das algas devido à presença de lemnáceas no sistema.

De modo geral, considerando a remoção da carga poluente, o tempo de detenção de 7 dias se demonstrou ineficiente, apresentando baixa eficiência de remoção. As melhores eficiências de remoção foram obtidas no tempo de retenção de 21 dias, em ensaios com menor concentração de DQO (400 e 550mg.L⁻¹).

Devido ao fato das lemnáceas serem utilizadas no tratamento terciário de efluentes, é necessário que os tratamentos primário e secundário sejam eficientes, atingindo uma carga menor que 1.000mg.L⁻¹ de DQO, considerando a toxicidade do efluente para as plantas.

A utilização desse tipo de sistema no tratamento de efluentes de suinocultura apresenta-se se como uma alternativa viável e capaz de realizar o polimento dos mesmos. A quantidade de matéria carbonácea, nutrientes e sólidos presentes no dejetos são diminuídos, reduzindo o impacto ambiental no momento do lançamento dos efluentes no ambiente.

Produção de biomassa de lemnas

O estudo da análise de variância aplicada indica que o ensaio 1 (400mg.L⁻¹ de DQO inicial) proporcionou maior produção de biomassa: 278 ± 30,21g (p<0,05) na primeira semana de experimento. Na segunda semana, os maiores dados de produção de biomassa foram obtidos no ensaio 4 (850mg.L⁻¹ de DQO inicial), e na terceira semana a maior produção de biomassa deu-se nos ensaios 3 e 4, que não apresentaram diferença significativa entre si (p>0,05).

A maior produção de biomassa pelo ensaio 1 no primeiro período analisado pode ser explicada pela menor quantidade de matéria orgânica no meio, proporcionando condições adequadas para o maior crescimento das lemnas. Como citado anteriormente por Korner e Vermaat (1998), altas concentrações de matéria orgânica são prejudiciais ao crescimento das lemnáceas devido à formação de um biofilme nas raízes, prejudicando a absorção de nutrientes e o crescimento das mesmas. As plantas ficam amareladas, aglomeradas e não cres-

cem, reforçando a hipótese que um efluente com alta concentração de matéria orgânica exerce efeito tóxico sobre as plantas (ensaios 4 e 5).

Culley e Myers (1978) afirmam que a reprodução das lemnáceas é basicamente vegetativa. Uma fronde dá origem à outra, sendo que este processo pode ocorrer cerca de vinte vezes em um período que varia de 10 dias a algumas semanas. Sendo assim, não foi realizado nenhum manejo para a retirada das plantas amareladas, pois as plantas saudáveis apresentavam considerável produção.

Pode-se observar que houve uma diminuição significativa na quantidade de matéria orgânica no meio (expressa em DQO) dos 7 para os 14 dias de detenção nos ensaios 4 e 5. As concentrações passaram de 731,1 e 944,4mg.L⁻¹ aos 7 dias para 316,4 e 493,4mg.L⁻¹ aos 14 dias, respectivamente (Tabela 2). Devido a esse fato, o efeito tóxico do efluente sobre as plantas diminuiu e as mesmas atingem altas taxas de produção de biomassa nesse período (14 dias de detenção).

Os resultados obtidos na segunda e terceira semana de experimento, através de análises estatísticas comprovam que os ensaios 3 e 4 (700 e 850mg.L⁻¹ de DQO inicial) proporcionaram maior produção de biomassa que os ensaios 1 e 2 (400 e 500mg.L⁻¹ de DQO inicial).

Considerando a produção total de biomassa no final do período experimental, os ensaios 3 e 4 (700 e 850mg.L⁻¹ de DQO inicial) apresentaram maiores valores. A menor produção ocorreu no ensaio 5, fato que parece indicar que uma DQO inicial de 1.000mg.L⁻¹ é excessivamente elevada para uma adequada produção de lemnas, exercendo efeito tóxico sobre as plantas.

Nos ensaios 1, 2 e 3, com DQO inicial baixa ou mediana, a produção de biomassa foi maior nas duas primeiras semanas de experimento.

De modo geral, pode-se observar que na terceira semana de experimento a produção de biomassa diminuiu, fato que pode ser explicado pela menor quantidade de nutrientes no meio (Oron, 1994). A Tabela 2 mostra a diminuição na quantidade de nutrientes presentes no meio de acordo com aumento do tempo de detenção. De acordo com Journey et al.(1993), as lemnáceas ge-

ralmente são encontradas na superfície de águas paradas e ricas em nutrientes, sendo exigentes em N e P.

O tratamento do dejetos de suínos com lemnáceas proporciona a produção de biomassa com alto valor protéico em quantidades consideráveis. A biomassa produzida pode ser utilizada na alimentação animal, gerando fonte de renda alternativa para os suinocultores e contribuindo dessa maneira para o desenvolvimento sustentável da atividade.

Quando o objetivo é aliar o tratamento do efluente e a produção de biomassa, o ensaio 3 (DQO de 700mg.L⁻¹) em um tempo de detenção de 14 dias apresentou os melhores resultados. Destaca-se que o teor protéico de 36,81%, obtido nestas condições, demonstrou ser relativamente alto quando comparado à média geral obtida nos outros tratamentos.

Teor protéico das lemnas

O tratamento terciário de dejetos suíno com lemnáceas é interessante, pois estas macrófitas têm preferência pela absorção de amônia mesmo na presença de outras formas de nitrogênio, fato responsável pela maior rapidez na formação de proteína nas lemnas que em outras plantas (Oron et al., 1988).

Os maior teor protéico atingido durante o experimento foi no Ensaio 4 (DQO inicial de 850mg.L⁻¹) sob um tempo de detenção de 7 dias. De forma geral, os Ensaios 3, 4 e 5 (DQO inicial de 700, 850 e 1.000mg.L⁻¹, respectivamente) apresentaram os maiores teores protéicos ao longo de todo o período experimental. Entretanto, destaca-se que um tempo de detenção de 21 dias apresenta-se pouco adequado para se obter lemnas de alto teor protéico devido à menor quantidade de nutrientes presentes no meio (Tabela 2). Em um estudo realizado por Oron (1994), o teor protéico das plantas diminuiu de 32% em um tempo de detenção de 3 dias para 20% em um tempo de retenção de 10 dias.

Agradecimentos

Os autores do presente trabalho agradecem o apoio financeiro fornecido pelo CNPQ/FINEP e o Departamento de Aqüicultura – CCA da Universidade federal

de Santa Catarina pela infra-estrutura disponibilizada para a realização do experimento.

Referências

- AOAC – Association of Official Analytical Chemists. 1999. **Official methods of analysis of AOAC**. 16th ed. AOAC, Washington, USA, 1141pp.
- APHA. 1998. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. American Public Health Association, Washington, USA, 1134pp.
- Al-Nozaily, F.; Alaerts, G.; Veenstra, S. 2000. Performance of duckweed-covered sewage lagoons- II Nitrogen and Phosphorus balance and Plant Productivity. **Water Research**, **34** (10): 2734-2741.
- Ayaz, S. C.; Akca, L. 2001. Treatment of wastewater by natural systems. **Environment International**, **26** (3): 189-195.
- Belli Filho, P.; Castilhos, A. B.; Costa, R. H. R.; Soares, S. R.; Perdomo, C. C. 2001. Tecnologias para o tratamento de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, **5** (1): 166-170.
- Brasil, D. M. 2002. **Apontamentos sobre o valor do prejuízo ecológico: Alguns parâmetros da suinocultura em Braço do Norte**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 222pp.
- Carvalho-Knighton, K. M.; Clark, B.; Benson, R. F. 2004. Duckweed and phosphate process water: Biomass fuel cell potential. **Abstracts of Papers of the American Chemical Society**, **227**: 95.
- Coleman, J. 2001. Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetlands. **Water Air and Soil Pollution**, **128** (3-4): 283-295.
- Culley, D. D.; Myers, R. W. 1978. Effect of harvest rate on duckweeds yield and nutrient extraction dairy waste lagoon. In: Culley, D. D. & Frye, J. B. (eds). **U.S. Department of Energy Final Report**. School of Forestry and Wildlife Management, Louisiana State University, Baton Rouge, USA, 6pp.
- Dalla Costa, O. A.; Mores, N.; Sobestiansky, J.; Perdomo, C. C.; Barioni Júnior, W.; Guzzo, R.; Coimbra, J. B. S.; Amaral, A. L. 2000. **Caracterização do sistema hidráulico e da qualidade da água em granjas de suínos da Região Sul do Brasil nas fases creche, crescimento e terminação**. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, Brasil, 5pp.
- Dalu, J. M.; Ndamba, J. 2003. Duckweed based wastewater stabilization ponds for wastewater treatment (a low cost technology for small urban areas in Zimbabwe). **Physics and Chemistry of the Earth**, **28**: 1147-1160.
- Decamp, O.; Warren, A. 2000. Investigation of *Escherichia coli* removal in various designs of subsurface flow wetlands used for wastewater treatment. **Ecological Engineering**, **14** (3): 293-299.
- Hadlich, G. M. 2004. **Poluição hídrica na Bacia do Rio Coruja-Bonito (Braço do Norte-SC) e suinocultura: Uma perspectiva sistêmica**. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 272pp.
- Iqbal, S. 1999. **Duckweed aquaculture. Potentials, possibilities and limitations for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries**. SANDEC Report N° 6/99, EAWAG/SANDEC, Duebendorf, Switzerland, 91pp.
- ICEPA – Instituto de Planejamento e Economia Agrícola de Santa Catarina. 2003. **Síntese anual da agricultura de Santa Catarina**. v.1. ICEPA, Florianópolis, Brasil, 127pp.
- Journey, W. K.; Skillicorn, P.; Spira, W. 1993. **Duckweed aquaculture. A new aquatic farming system for developing countries**. World Bank Publication, Washington, D.C., U.S.A., 67pp.
- Korner, S.; Vermaat, J. E. 1998. The relative importance of *Lemna gibba*, bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed – covered domestic wastewater. **Water Research**, **32** (12): 3651-3366.
- Lyerly, C. N. 2004. **Swine wastewater treatment in an integrated system of anaerobic digestion and duckweed nutrient removal: pilot study**. Masters of Science Thesis, North Carolina State University, USA, 97pp.
- Miranda, C. R.; Zardo, A. O.; Gosmann, H. A. 1999. **Uso de dejetos de suínos na agricultura. Instruções Técnicas para o Suinocultor**. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, Brasil, 2pp.
- Monteiro, L. W. S. 2005. **Avaliação do desempenho de dois sistemas em escala real para o manejo dos dejetos suínos: Lagoa armazenamento comparada com biodigestor seguido de lagoa de armazenamento**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil, 146pp.
- Oron, G. 1994. Duckweed culture for wastewater renovation and biomass production. **Agricultural Water Management**, **26**: 27-40.
- Oron, G.; De Vegt A.; Porta, D. 1988. Nitrogen removal and conversion by duckweed grown on wastewater. **Water Resource**, **22** (2): 179-184.
- Oron, G.; Wildschut, L. R. A.; Porath, D. 1987. Waste water recycling by duckweed for protein production and effluent renovation. **Water Science and Technology**, **17**: 803-817.
- Perdomo, C. C.; Oliveira, P. A. V. O.; Kunz, A. 2003. **Sistema de tratamento de dejetos de suínos: inventário tecnológico**. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia, Brasil, 83pp.
- Ran, N.; Agami, M.; Oron, G. 2004. A pilot study of constructed wetlands using duckweed (*Lemna gibba* L.) for treatment of domestic primary effluent in Israel. **Water Research**, **38**: 2241-2248.
- Rao, S. V. R. 1986. A review of the technological feasibility of aquacultures for municipal wastewater treatment. **International Journal of Environmental Studies**, **27**: 219-223.
- Rodrigues, J. B. R.; Mohedano, R. A.; Fracalossi, D. M. 2005. *Lemna valdiviana*, uma planta que além de tratar efluentes alimenta os peixes cultivados. **Panorama da Aqüicultura**, **15**: 33-40.
- Roesler, M. R.; Cesconeto, E. A. 2003. A produção de suínos e as propostas de estão de ativos ambientais: o caso da região de Toledo no Paraná. **Gepec [on-line]**, **7**: 2.
- Vermatt, J.; Hanif, K. M. 1998. Performance of common duckweed species (*Lemnaceae*) and the water-fern *Azolla filiculoides* on different types of waste water. **Water Research**, **32** (9): 2569-2576.
- Zimmo, O. R.; Van der Steen, N. P.; Gijzen, H. J. 2004. Nitrogen mass balance across pilot-scale algae and duckweed-based wastewater stabilization ponds. **Water Research**, **38**: 913-920.