

### III-403 - RESERVATÓRIO DE ESTABILIZAÇÃO E FILTRO DE PEDRAS USADOS PARA O POLIMENTO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

**Cláudia Lavina Martins<sup>(1)</sup>**

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre e Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Pós-doutoranda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina.

**Heloísa Fernandes**

Graduada em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina. Doutoranda em Engenharia Ambiental da pela Universidade Federal de Santa Catarina.

**Armando Borges de Castilhos Jr.**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela UFSC, Doutor pelo Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, França. Pós Doutorado pela Ecole Nationale Supérieure des Mines de Paris e Université de Sherbrooke, Canadá. Professor Associado III do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC.

**Rejane Helena Ribeiro da Costa**

Engenheira Civil pela UFPB, Mestre em Hidráulica e Saneamento EESC-USP São Carlos – SP, Doutora pelo Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA), França . Pós Doutorado Université Montpellier I, UM I, França. Professora Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFSC.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Trajano Manoel dos Anjos, 40 - Barra da Lagoa - Florianópolis, SC - Brasil. CEP: 88061-030 - Fone: (55) (48) 3232-3543 - E-mail: [lavina8@hotmail.com](mailto:lavina8@hotmail.com)

#### RESUMO

Neste estudo são apresentados os resultados obtidos em duas unidades de polimento (filtro de pedras e reservatório de estabilização) em uma estação piloto composta de três lagoas de estabilização em série (L1, L2 e L3), tratando lixiviado de aterro sanitário. As unidades foram alimentadas individualmente com efluente proveniente da saída da lagoa L3, durante 27 semanas, visando uma maior eficiência na depuração do lixiviado, principalmente no que diz respeito à remoção de sólidos totais, decorrente da presença de algas, além da remoção de amônia e matéria carbonácea. O monitoramento foi realizado nas entradas e saídas de cada uma das unidades de tratamento, com medidas de parâmetros físico-químico e biológicos e microscopia ótica. Os resultados mostraram que o sistema de tratamento composto por lagoas + filtro de pedras foi mais eficiente na remoção de SST (50%), Turbidez (69%) e Clorofila a (88%) enquanto que o sistema de tratamento formado por lagoas + reservatório de estabilização obteve melhores resultados na remoção de NTK (93%), Amônia (95%), DBO<sub>5</sub> (90%) e DQO (61%). Na avaliação planctônica e microbiológica, houve aparecimento de fitoplâncton com pouca diversidade algal, havendo predominância de algas do gênero *Chlamydomonas*. Diante do exposto, conclui-se que o tratamento foi eficaz na depuração do lixiviado, tanto utilizando o filtro de pedras quanto com o reservatório de estabilização, comprovado também pelo estudo estatístico, que mostrou diferenças significativas, para a maioria das variáveis monitoradas, nas concentrações de entrada e saída destas unidades de tratamento.

**PALAVRAS-CHAVE:** lixiviados, lagoas de estabilização, filtro de pedras, reservatório de estabilização.

#### INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários constituem uma das formas mais adequadas e econômicas para a disposição de resíduos sólidos, porém o lixiviado drenado destes é potencialmente tóxico ao meio ambiente. Os lixiviados são resultantes da degradação dos resíduos sólidos com infiltrações de águas de chuvas e escoamento superficial, que necessitam de tratamento, de forma a reduzir os altos níveis de matéria orgânica e inorgânica, metais pesados e nutrientes, principalmente nitrogênio amoniacal, presente neste tipo de efluente (LANGE et al., 2009).

As lagoas de estabilização (largamente difundidas no tratamento de esgoto doméstico) são aplicadas no para o tratamento de lixiviados (FRASCARI et al., 2004; RENOU et al., 2008). Utiliza-se com grande frequência sistemas de lagoas em série (anaeróbias, facultativas, maturação) onde ocorre a remoção da matéria orgânica dos lixiviados, pela ação das bactérias. Porém, devido às altas concentrações de sólidos totais, decorrente da presença de algas, os efluentes das lagoas requerem um polimento final antes de serem lançados nos corpos hídricos.

Os filtros de pedras são comumente utilizados como unidades de polimento de efluentes tratados em sistemas de lagoas e têm como principal função, quando combinado com lagoas de estabilização, a retenção de algas, reduzindo a concentração de sólidos totais que provém destas lagoas. Seu funcionamento baseia-se na passagem do efluente através dos poros do leito de pedras, fazendo com que as algas fiquem aderidas na superfície das pedras e o líquido flua através dos espaços vazios (MIDDLEBROOKS et al., 2005).

Os reservatórios de estabilização por sua vez, idealizados em Israel no início da década de 70, quando aplicados em sistemas de tratamento de efluentes (brutos ou pré-tratados), apresentam como vantagens, remoções nas concentrações de matéria orgânica, nutrientes e microrganismos, contribuindo na maior depuração do efluente (FRIEDLER et al., 2003).

Nesse cenário, buscou-se com esta pesquisa melhorar a qualidade de efluentes de sistemas de tratamento com lagoas de estabilização, tratando lixiviado de aterro sanitário, utilizando unidades de polimento (filtro de pedras e reservatório de estabilização), atenuando os impactos resultantes do lançamento deste efluente sobre a qualidade do corpo receptor.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de tratamento, em escala piloto, era formado por: lagoa anaeróbia (L1), seguida de lagoa facultativa (L2) e lagoa de maturação (L3), Filtro de Pedras (FP) e Reservatório de Estabilização (RE) conforme Figura 1. Na Tabela 1 estão apresentadas as características físicas e operacionais de cada unidade.



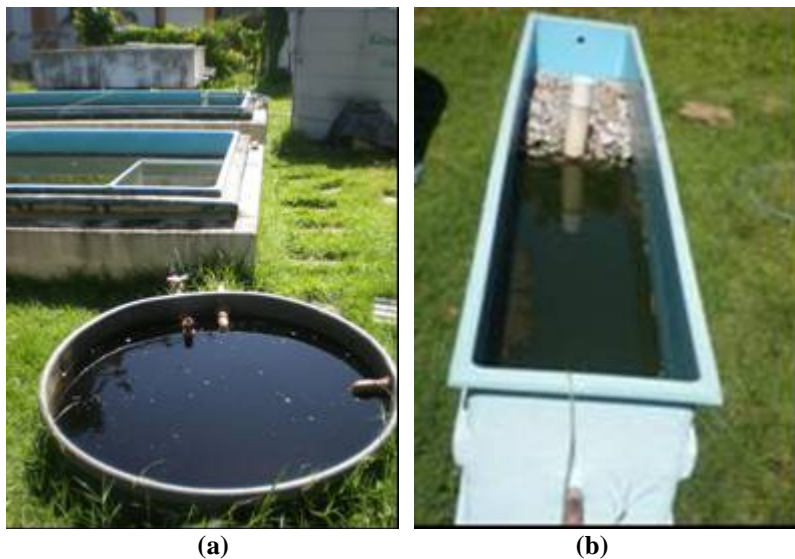
**Figura 1. Vista geral das unidades de tratamento.**

**Tabela 1. Síntese das características e condições operacionais das lagoas.**

Condições Aplicadas	L1	L2	L3	FP	RE
Comprimento (m)	*	4,36		3,0	*
Largura (m)	*	2,4		0,5	*
Diâmetro	1,85	*	*	*	1,0
Profundidade (m)	1,85	0,8	0,6	0,5	1,0
Volume (m <sup>3</sup> )	5	8,37	6,25	0,75	1,0
TRH (dias)	25	42	31	4	80
Vazão alimentação(L/d)			200		

O filtro de pedras e o reservatório de estabilização receberam, paralelamente, o efluente de saída da lagoa L3 do sistema de tratamento.

O filtro de pedras foi construído em fibra de vidro e preenchido com brita comercial n°4 (granulometria de 38 – 76 mm), a taxa hidráulica aplicada foi de 0,14 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d. O reservatório de estabilização construído em PVC possui formato cilíndrico, volume útil de 1,0 m<sup>3</sup> e tempo de retenção hidráulica de 80 dias. Nas Figuras 2 (a) e (b) são apresentadas fotos das unidades de polimento.



**Figura 2 - Reservatório de estabilização (a) e Filtro de Pedras (b)**

O sistema de tratamento funcionou em fluxo contínuo ( $Q = 200$  L/dia), e seu monitoramento foi efetuado durante 27 semanas de tratamento. Foram realizadas coletas de amostras no efluente bruto (EB), saída da lagoa 3 (SL3), interior do reservatório de estabilização (RE) e saída do filtro de pedras (SPF).

Foram medidos OD (mg/L), Temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) e pH *in loco* com sonda multiparâmetros (YSI 6600 V2). As variáveis físico-químicas e biológicas analisadas foram: demanda química de oxigênio (DQO, método do refluxo fechado com dicromato de potássio); demanda bioquímica de oxigênio (DBO, incubação e medidas manométricas HACH Track), carbono orgânico dissolvido (COD, SHIMADZU 500A); série de sólidos totais, fixos e voláteis e sólidos suspensos totais (ST, SF, SV, SST, por gravimetria); Amônia ( $\text{NH}_4\text{-N}$ ) e Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK) (digestão e destilação VELP); cor (UC, espectrofotometria,  $\lambda = 254$  nm); turbidez (NTU, turbidímetro HACH), clorofila *a* (cl *a*, extração em álcool etílico) e identificação fitoplânctonica (microscópio óptico Olympus BX-41), segundo o *Standard Methods* (APHA, AWWA, WEF, 2005).

Os dados obtidos neste estudo foram tratados estatisticamente pela “análise de variância” (ANOVA) utilizando a entrada do lixiviado bruto (EB), saída da Lagoa L3 (SL3), Saída do Filtro de Pedras (SFP) e interior do Reservatório de Estabilização (RE), a fim de verificar a existência de diferenças estatisticamente significativas entre estes pontos amostrais do sistema de tratamento. Havendo diferenças significativas entre os tratamentos/pontos amostrais, pode-se realizar o teste de comparações de múltiplas médias através do Teste de Tukey. O qual foi aplicado para avaliar se existe diferença significativa entre a concentração média de entrada do lixiviado bruto (EB) e saída do sistema de tratamento (SL3, SFP e RE), avaliando se houve tratamento efetivo nas unidades de tratamento e se existe diferença significativa nas unidades de polimento utilizadas neste estudo, verificando a importância destas no desempenho do sistema.

## RESULTADOS

Na Tabela 2 estão apresentadas as concentrações médias dos parâmetros obtidos no estudo, onde se observa que as melhores eficiências médias, obtidas durante as 27 semanas de monitoramento no filtro de pedras, foram para os parâmetros SST (50%), Turbidez (69%) e Clorofila *a* (88%), atendendo ao objetivo de polimento do efluente (remoção da biomassa algal).

No reservatório de estabilização, diferente do filtro de pedras onde o tratamento foi principalmente físico, foram observadas grandes contribuições desta unidade na depuração final do lixiviado, o qual apresentavam ainda concentrações muito altas na saída da L3. Foram alcançadas remoções para NTK (93%), Amônia (95%),  $\text{DBO}_5$  (90%) e DQO (61%), revelando que esta unidade de polimento, atuou como uma etapa terciária do tratamento do lixiviado removendo matéria orgânica e nutrientes.

**Tabela 2 - Concentrações médias e desvios padrões**

n=27	Local	pH	OD mg/L	T °C	SST mg/L	ST mg/L	SF mg/L	SV mg/L
Concentração Média	EB	9,7 ± 0,1	0	21 ± 2	453 ± 212	7623 ± 1079	5749 ± 833	1874 ± 491
	S L3	9,6 ± 0,1	2,6 ± 1,2	19 ± 2	268 ± 117	5817 ± 1206	4654 ± 964	1145 ± 400
	SFP	9,5 ± 0,1	2,8 ± 1,2	20 ± 2	227 ± 118	5544 ± 1136	4605 ± 1066	1196 ± 1125
	RE	9,6 ± 0,1	1,6 ± 1,0	19 ± 2	234 ± 145	4604 ± 982	3847 ± 988	820 ± 227
n=27	Local	NTK mg/L	Amônia mg/L	DQO <sub>T</sub> mg/L	DBO <sub>5</sub> Filtrada mg/L	Clorofila <i>a</i> µg/L	Cor UC	Turbidez NTU
Concentração Média	EB	1303 ± 219	1022 ± 176	3285 ± 883	1359 ± 661	=	4759 ± 1332	144 ± 65
	S L3	243 ± 106	175 ± 86	1478 ± 523	214 ± 74	454 ± 198	3650 ± 1097	73 ± 22
	SFP	254 ± 109	213 ± 166	1436 ± 599	174 ± 79	53 ± 59	2507 ± 801	45 ± 16
	RE	90 ± 70	49 ± 56	1291 ± 558	134 ± 60	605 ± 355	2678 ± 533	54 ± 8

Schmidt (2007), tratando o mesmo lixiviado de aterros sanitário com filtro de pedras a uma taxa hidráulica aplicada de 0,25 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d., obteve remoções para a Turbidez (5%), DQO<sub>T</sub> (12%), Sólidos Suspensos Totais (49%), Amônia (11%) e Clorofila *a* (50%), nos primeiros meses de monitoramento, onde o sistema de lagoas em estudo estava entrando em regime de funcionamento permanente.

Na literatura não são comuns bibliografias referentes ao uso de unidades de polimento no tratamento de lixiviados, porém para outros efluentes a presença destas unidades é bastante promissora. Em pesquisas com dejetos de suínos, Oliveira et al. (2006) estudou o desempenho de um filtro de pedras de fluxo horizontal, a uma taxa de 0,14 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d., no pós-tratamento do efluente de lagoa de maturação e obtiveram como resultados 17% de remoção de sólidos suspensos e 36% de remoção de clorofila *a*; Gomes et al. (2009) aplicaram uma taxa de 0,25 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d em filtro de pedras de fluxo ascendente em escala piloto, no polimento de efluente provido de lagoa de maturação e obtiveram remoções de 29% de sólidos suspensos totais e 87% de clorofila *a* (35µg/L na saída); Velho et al. (2010) obtiveram remoções de SST (33%), Amônia (8%) e DQO (20%) utilizando filtro de pedras e SST (77%), DQO (58%) e Amônia (24%) utilizando reservatório de estabilização no polimento deste efluente.

Para esgoto sanitário, em sistema de tratamento formado por reator UASB seguido por três lagoas em série e um filtro de pedras, Von Sperling et al. (2008) relataram que o filtro de pedras foi eficiente na remoção de DBO, DQO e sólidos suspensos totais (21%, 45% e 58%, respectivamente) devido à presença da matéria orgânica particulada, formada principalmente por algas. Para amônia, fósforo total e coliformes, a atuação do filtro foi pequena, sendo mesmo negativa no caso da amônia; Sezerino et al. (2005), avaliando o comportamento de filtro de pedras em escala piloto com taxa de 0,17 m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>.d, obtiveram uma remoção de 83% dos sólidos suspensos.

## ANÁLISE ESTATÍSTICA

Na tabela 3 estão apresentadas as variáveis monitoradas neste estudo que tiveram suas médias comparadas pelo Teste de Tukey, onde valores de mesma letra representam médias sem diferenças estatísticas significativas para  $p < 0,05$  (5%).

**Tabela 3 - Análise estatística das principais variáveis de monitoramento do sistema, aplicada nos pontos amostrais (EB, SL3, SFP e RE) do estudo,  $p < 0,05$ .**

	EB	SL3	SFP	RE
NTK (mg/L)	1303 a	243 b	254 b	90 c
Amônia (mg/L)	1022 a	175 b	224 b	49 c
DQO <sub>T</sub> (mg/L)	3285 a	1478 b	1436 b	1291 b
DQO <sub>5</sub> (mg/L)	2814 a	1263 b	1348 b	1112 b
DBO <sub>F</sub> (mg/L)	1359 a	214 b	168 b	134 b
ST (mg/L)	7623 a	5817 b	5544 b	4604 c
SF (mg/L)	5749 a	4654 b	4605 b,c	3847 c
SV (mg/L)	1874 a	1145 b	1196 b	820 b
SST (mg/L)	453 a	268 b	227 b	234 b
Cor (UC)	4759 a	3650 b	2507 c	2678 b,c
Turbidez (NTU)	144 a	73 b	45 b	54 b
Clorofila <i>a</i> (µg/L)	*	454 a	53 b	605 a
Valores seguidos da mesma letra não diferem entre si, ao nível de de 5% de significancia pelo Teste de Tukey.				

Através do Teste de Tukey, verificou-se que, para todas as variáveis monitoradas, o sistema de tratamento apresentou diferenças significativas nas concentrações de entrada e saída do sistema. As presenças de unidades de polimento (Filtro de Pedras e Reservatório de Estabilização) no tratamento do lixiviado contribuíram nas obtenções de diferenças significativas das concentrações efluentes de determinadas variáveis. No caso do filtro de pedras, o tratamento promoveu remoção estatisticamente significativa entre as amostras coletadas na SL3 e SFP para as variáveis SF, Cor e Clorofila *a*, mostrando sua importância no sistema de tratamento como unidade de polimento. Para o reservatório de estabilização, observou-se uma remoção estatisticamente significativa para os compostos nitrogenados além de ST, SF e Cor, mostrando que esta unidade continuou atuando não somente como uma unidade de polimento, mas como uma unidade de tratamento (terciário) do efluente tratado.

Na fração carbonácea, não foram observadas diferenças significativas entre as saídas da lagoa 3 e as saídas das unidades de polimento, coincidindo com os resultados alcançados no monitoramento analítico realizados no sistema de tratamento (Tabela 2), onde as eficiências médias de remoção para a DQO<sub>T</sub> foram de 3% (SL3 - SFP) e 13% (SL3 - RE) e para a DBO<sub>F</sub> foram de 19% (SL3 - SFP) e 37% (SL3 - RE).

Nas avaliações planctônicas e microbiológicas, observou-se o aparecimento de fitoplâncton com pouca diversidade algal, havendo predominância de algas do gênero *Chlamydomonas* (Figura 4) em todas as unidades do tratamento. A elevada densidade desse gênero deve-se, provavelmente, por estes organismos serem mais bem adaptados às condições extremas de contaminação do lixiviado, levando assim a exclusão dos demais grupos, como relatado em Lin et al. (2007). Uma monocultura de *Chlamydomonas* também foi obtida nos estudos realizados por Leite et al. (2009) em lagoas rasas e em Frascari et al. (2004) utilizando cinco lagoas em série, tratando lixiviado de aterro sanitário.

No reservatório de estabilização, as algas apresentavam comportamento semelhante ao observado nas lagoas de estabilização, sobretudo nas florações (blooms algais) onde ocorria variação na concentração algal na superfície destas unidades de tratamentos. O efluente tratado no reservatório apresentava-se com coloração verde escuro, com valores altos de clorofila *a* (605 µg/L em média), necessitando ainda de uma unidade de polimento. No filtro de pedras, por sua vez, observou-se que as algas providas na lagoa 3 (SL3) ficavam retidas no leito filtrante, produzindo um efluente transparente, com baixas concentrações de clorofila *a* (53 µg/L em média) na saída desta unidade, atuando realmente como uma unidade de polimento no tratamento do lixiviado.

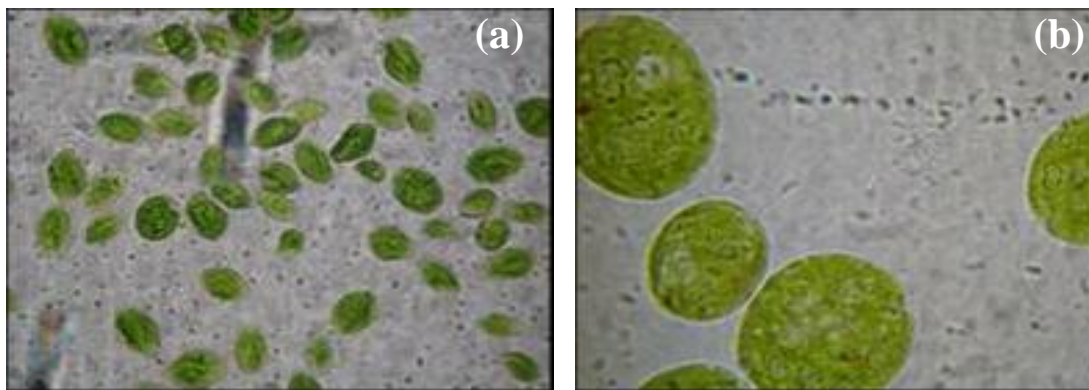


Figura 4 - Fotos de *Chlamydomonas* sp. do sistema de tratamento. a) (400x) e b) (1000x)

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O Filtro de Pedras atendeu ao objetivo de polimento do efluente, removendo a biomassa algal e conseqüentemente alcançando significativa remoção de sólidos suspensos totais, turbidez e clorofila *a*.

O reservatório de estabilização atuou não somente como uma unidade de polimento, mas como uma unidade de tratamento (terciário) obtendo remoções significativas de DQO (61%), DBO<sub>5</sub> (90%), NTK (93%), Amônia (95%).

As duas unidades conseguiram atender a Legislação Ambiental de Santa Catarina, para lançamento de efluentes, quanto à remoção de DBO<sub>5</sub> (>80%).

Através da avaliação estatística verificou-se que, para todas as variáveis monitoradas, o sistema de tratamento apresentou diferenças significativas nas concentrações de entrada e saída do sistema evidenciando que houve tratamento do lixiviado, independente da unidade de polimento estudada.

Nas avaliações planctônicas e microbiológicas, observou-se a predominância de algas do gênero *Chlamydomonas* em todas as unidades do sistema de tratamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA - American Publican Heath Association - American Water Works Association (AWWA). Water Environment Federation. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21<sup>th</sup> ed. Washington DC, USA, 2005.
2. FRASCARI, D.; BRONZINI, F.; GIORDANO, G.; TEDIOLI, G.; NOCENTINI, M. Long-term characterization, lagoon treatment and migration potencial of landfill leachate: a case study in an active Italian landfill. Elsevier, Chemosphere, v.54, p.335 – 343, 2004.
3. FRIEDLER, E.; JUANICO, M.; SHELEF, G. Simulation model of wastewater stabilization reservoirs. Ecological Engineering, v. 20, p. 121-145, 2003.
4. GOMES, M.C.R.L.; PEREIRA, T.D.S.; VELHO, V.F.; COSTA, R.H.R. Filtro de Pedras de Fluxo Ascendente para o Polimento de Dejetos Suínos visando o Reuso do efluente tratado. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Campo Grande, MS. Anais do XVIII Simpósio ABRH. Rio de Janeiro, RJ : ABRH, 2009.
5. LANGE, L.C.; AMARAL, M.C.S. Geração e Características do lixiviado. In: GOMES, L.P.G. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras. Rio de Janeiro, ABES, p.26-59, 2009.
6. LEITE, V.D.; PEARSON, H.W.; SOUSA, J.T.; LOPES, W.S.; LUNA, M.L.D. The removal of ammonia from sanitary landfill leachate using a series of shallow waste stabilization ponds. In: 8th IWA Specialist Group Conference on Waste Stabilization Ponds. Belo Horizonte, Brasil. CD-ROM, 2009.
7. LIN, L.; CHAN, G.Y.S.; JIANG, B.L.; LAN, C.Y. Use of ammoniacal nitrogen tolerant microalgae in landfill leachate treatment. Waste Management, v.27, p.1376-1382, 2007.

8. MIDDLEBROOKS, E.J., ADAMS, V.D., BILBY, S. e SHILTON, A. Solids removal and other upgrading techniques. In: SHILTON, A. (editor). Pond Treatment Technology. IWA Publishing: Londres, 2005.
9. OLIVEIRA, J.L.R.; ARAÚJO, I.S.; BELLI Fº, P.; COSTA, R.H.R. Polimento de efluentes de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos utilizando filtros. In: XXX Congreso de la Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria e Ambiental (AIDIS), Anais XXX Congreso AIDIS. v. 1., Punta del Este: AIDIS, 2006.
10. RENOU, S.; GIVAUDAN, J.G.; POULAIN, S.; DIRASSOUVAN, F.; MOULIN, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. Journal of Hazardous Material, Elsevier, v.50, p.468-493, 2008.
11. SCHMIDT, J.R.A. Filtro de Pedras como Polimento de Sistema de Lagoas de Estabilização para Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário. TCCII (Trabalho de Conclusão de Curso). Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.
12. SEZERINO, P.H., GOTARDO, J.T., MURAOKA, R., PHILIPPI, L.S. e LAPOLLI, F.R. Filtro de pedra como pós-tratamento de efluente de lagoa de estabilização. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Campo Grande, 2005.
13. VELHO V., GOMES M.C.R.L., PEREIRA T.D.S., BELLI Fº P., COSTA R.H.R.C. Avaliação de unidades de polimento de sistema de tratamento de dejetos de suínos. In: X Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Maceió/Al, 2010.
14. VON SPERLING, M.; OLIVEIRA, C.M.; ANDRADA, J.G.B.; GODINHO, V.M.; ASSUNÇÃO, F.A.L.; MELO JÚNIOR, R. Performance evaluation of a simple wastewater treatment system comprised by UASB reactor, shallow polishing ponds and coarse rock filter. Water Science & Technology, v.58, n. 6, p.1313-1319. 2008.