

Remoção de algas em um sistema de biofiltros submersos

Removal of algae in a submerge biofilter system

Gerson Pavanelli^{1*} , Eduardo Cleto Pires¹ 

RESUMO

Esta pesquisa propôs o desenvolvimento de um sistema de biofiltros submersos (SBS), modificados com base na configuração de filtros de pedra, visando ao pós-tratamento do efluente de lagoas de estabilização, inicialmente para a remoção de algas. Foram implantados 2 conjuntos de biofiltros submersos para captar esgoto tratado de duas diferentes profundidades de uma lagoa de maturação – a 60 cm (em uma zona dessa lagoa chamada superficial – ZS) e a 180 cm (em outra zona dessa lagoa chamada intermediária – ZI). Foi utilizada, como recheio dos biofiltros submersos, pedra brita nº 3, nas seguintes alturas de leito filtrante: 50, 100, 150 e 200 cm, tendo por objetivo avaliar a influência desse fator sobre a eficiência de remoção de algas mediante análise de clorofila A e outras 16 variáveis de qualidade associadas neste estudo. Obtiveram-se eficiências para demanda química de oxigênio (DQO) no intervalo de 65 a 80% para ZS e, para ZI, os resultados dessa eficiência tiveram muita variação, sem estabilidade – de forma prática, portanto, o ponto de coleta na ZI mostrou-se não recomendado. Quando às eficiências para clorofila A, para ZS, o intervalo alcançado variou de 65 a 99% e, para ZI, esses resultados foram inferiores aos da ZS. Concluiu-se que a extração a partir da zona superficial da lagoa de maturação e uma profundidade de leito entre 150 e 200 cm foram os parâmetros operacionais que levaram a um melhor desempenho global dos biofiltros submersos modificados e, mais especificamente, quanto às seguintes variáveis: DQO, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), clorofila A e sólidos totais.

Palavras-chave: biofiltros; pós-tratamento de lagoa; remoção de algas.

ABSTRACT

This research proposed the development of a submerged biofilters system, modified based on the configuration of rock filters, aiming at the effluent post-treatment of stabilization lagoons, initially for algae removal. Two sets of submerged biofilters were implemented to collect treated sewage from two different depths of a maturation lagoon – at 60 cm (in a zone of this lagoon called superficial-SZ) and at 180 cm (in a zone of this lagoon called intermediary-IZ). It was used, as filling of submerged biofilters, gravel No. 3, at filtering layers heights of: 50, 100, 150 and 200 cm, aiming to evaluate the influence of this factor over algae removal efficiency toward chlorophyll *a*, and other 16 quality variables associated in this study. For SZ, efficiencies were obtained for COD in the range of 65 to 80%, and for IZ the efficiency results had a lot of variation, without stability, in a practical way, so the collection point in ZI was not recommended. For SZ efficiencies were obtained for chlorophyll *a* in the range of 65 to 99%, and for IZ the efficiency results were lower than those of SZ. It was concluded that the collecting from superficial zone of the maturation lagoon, and a layer depth between 150 and 200 cm, were the operational parameters that led to a better overall performance of the modified submerged biofilters, and more particularly to: COD (Chemical Oxygen Demand), BOD (Biochemical Oxygen Demand), chlorophyll *a*, and total solids.

Keywords: biofilter; lagoon post treatment; algae removal.

INTRODUÇÃO

Entre os principais problemas enfrentados em estações de tratamento de esgoto (ETE) providas de sistemas de tratamento por meio de lagoas, destaca-se o excesso de produção de algas, concorrendo para o não atendimento aos requisitos das legislações ambientais federal e estadual, para efluentes lançados em cursos d'água, no que diz respeito, por exemplo, aos valores de nitrogênio amoniacal.

Tal fato tem sido recorrente em instalações situadas em todo o mundo, ocorrendo também, nos últimos anos, em diversos sistemas

de tratamento de esgoto da Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), o que motivou o interesse na presente pesquisa, visando encontrar soluções para o problema enfrentado.

Para tanto, foi desenvolvida uma nova configuração de biofiltro submerso, modificado a partir da configuração de filtros de pedra, objetivando o pós-tratamento do efluente de uma lagoa de maturação, localizada no interior das instalações da ETE Norte da SANEPAR.

Nesse local, foram implantados 2 conjuntos de biofiltros submersos para captar esgoto tratado de duas diferentes profundidades dessa

¹Universidade de São Paulo – São Carlos (SP), Brasil.

*Autor correspondente: sanetec@sanetec.com.br

Recebido: 26/06/2014 – Aceito: 10/09/2018 – Reg. ABES: 136913

lagoa — a 60 cm (em uma zona chamada superficial — ZS) e a 180 cm (em outra zona chamada intermediária — ZI).

Para a análise da eficiência de remoção das algas por parte do sistema de biofiltros submersos (SBS), foi utilizada a determinação analítica de clorofila A, de modo que se quantificasse indiretamente a presença de algas no efluente dos biofiltros submersos e se avaliasse qual a espessura de camada filtrante mais adequada para essa finalidade.

METODOLOGIA

As instalações de biofiltros submersos foram construídas próximas ao acesso da ETE Norte, com as tomadas da ZS (60 cm) e da ZI (180 cm), na parte final da lagoa de maturação dessa estação, sendo recalcado

o afluente aos biofiltros submersos por meio de bombas submersíveis. Para efeito de apresentação do sítio experimental onde a presente pesquisa foi desenvolvida, é apresentada, na Figura 1, a planta de situação e o respectivo perfil hidráulico da estação, em Cascavel (PR). A Tabela 1 apresenta os parâmetros do projeto dessa estação (conforme dados da SANEPAR).

Nas tomadas na lagoa, efetuadas por meio de duas bombas submersíveis, foi considerado que ocorre maior concentração de algas próximo à superfície, sendo assim, foram estudadas duas alturas diferentes como afluentes aos biofiltros submersos, uma a 0,60 m de profundidade da superfície da lagoa e outra a 1,80 m.

A Figura 2 apresenta diferentes vistas das instalações experimentais em sua fase final de implantação na ETE Norte da SANEPAR em Cascavel (PR).

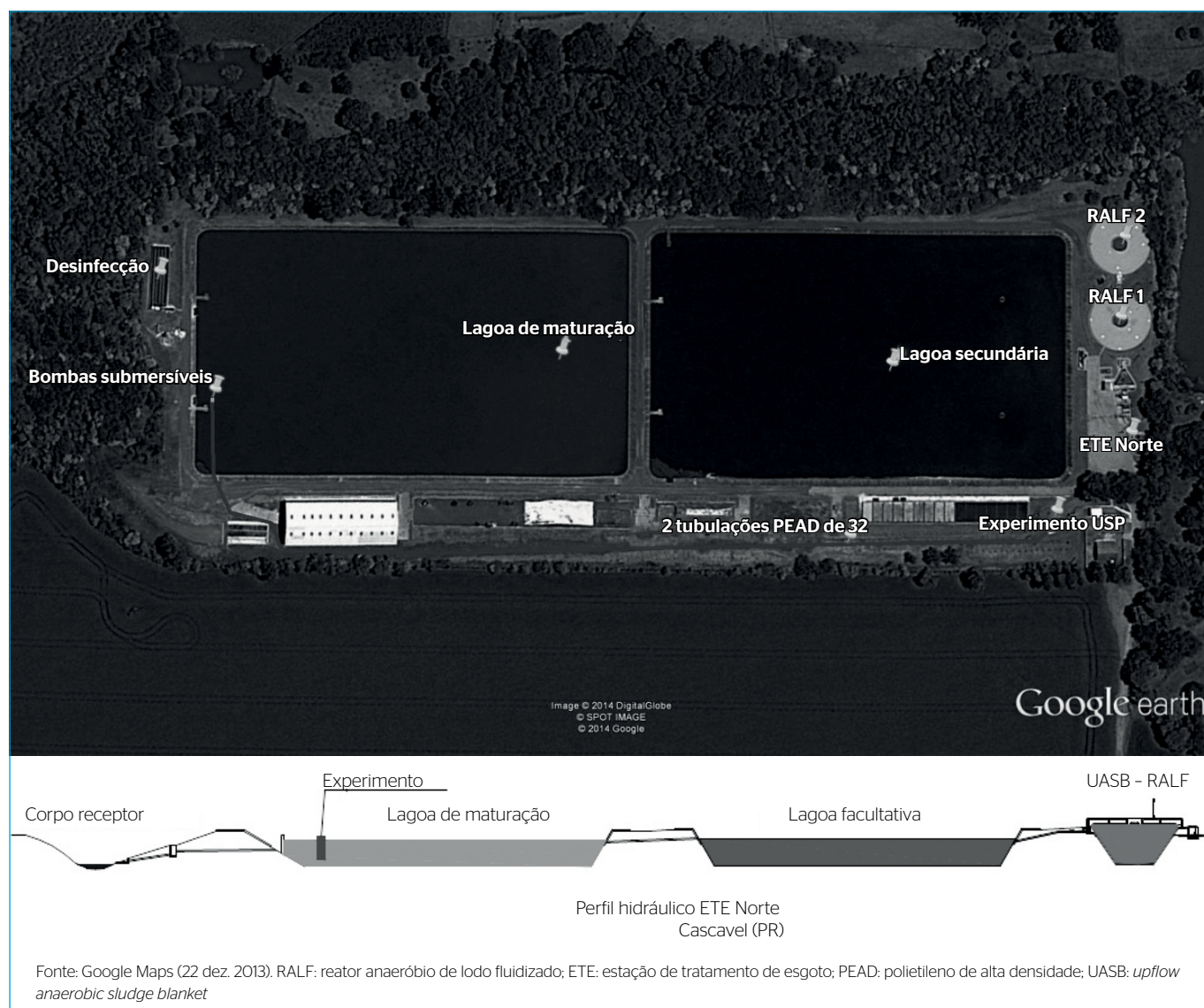


Figura 1 - Planta e perfil da estação de tratamento de esgoto Norte da Companhia de Saneamento do Paraná, situada em Cascavel (PR), com seu respectivo perfil hidráulico.

Sistema de biofiltros submersos

Foram construídos quatro biofiltros submersos para a alimentação de afluente da ZS e mais quatro para a da ZI da lagoa de maturação. A Tabela 2 mostra as profundidades de camada filtrante de cada um desses biofiltros.

Para a execução dos biofiltros submersos, foram utilizados, como fôrma, tubos da TIGRE-ADS[®] em polietileno de alta densidade (PEAD) com diâmetro nominal (DN) de 1.050 mm e extensão de 6 m. Como a utilização dos biofiltros submersos deveria ocorrer na vertical (Figura 3), para o tamponamento da base, executou-se um revestimento em fibra de vidro, internamente, em todo o tubo, para garantir a estanqueidade. Foram deixados orifícios, um para o afluente, outro para o efluente do biofiltro submerso em policloreto de polivinila (PVC) com DN de 25 mm e a saída para descarga em PVC com DN de 100 mm.

Os biofiltros submersos foram preenchidos com 4 alturas de recheio: 50, 100, 150 e 200 cm. Para os recheios, foi utilizada pedra brita nº 3 (observar o corte do biofiltro submerso — FS — na Figura 4). Foi necessário realizar uma seleção dessas pedras, utilizando o dobro do volume previsto, para a obtenção de leitos filtrantes homogêneos.

Tabela 2 - Altura da camada filtrante para cada biofiltro submerso.

N. do biofiltro submerso (ZI)	Altura da camada filtrante (cm)	N. do biofiltro Submerso (ZS)	Altura da camada filtrante (cm)
BS-1	50	BS 5	50
BS-2	100	BS 6	100
BS-3	150	BS 7	150
BS-4	200	BS 8	200

ZI: zona intermediária; ZS: zona superficial; BS: biofiltro submerso.

Tabela 1 - Parâmetros de projeto da estação de tratamento de esgoto Norte de Cascavel (PR) (conforme dados da Companhia de Saneamento do Paraná).

PARÂMETRO	Ano 2000 1ª etapa	Ano 2010 2ª etapa	Ano 2020	Saturação Fim de Plano
População atendida (hab.)	46.628	70.950	94.983	144.366
Vazão doméstica média (L.s ⁻¹)	69,22	105,58	141,67	209,25
Vazão de infiltração em épocas de chuvas (L.s ⁻¹)	69,06	70,05	70,05	80,28
Vazão média sanitária ($\bar{Q} = L.s^{-1}$)	138,28	175,63	211,72	290,11
Vazão do dia de maior contribuição (L.s ⁻¹)	152,13	196,74	240,05	331,96
Vazão máxima (L.s ⁻¹)	193,66	260,09	325,05	457,51
Carga DBO (kg.dia ⁻¹)	2.518	3.831	5.129	7.796
Concentração DBO (mg.L ⁻¹)	211	252	280	311
Carga DQO (kg.dia ⁻¹)	5.036	7.662	10.258	15.592
Concentração DQO (mg.L ⁻¹)	422	504	560	622
NMP coliforme fecal/100 ml ¹ (sem chuvas)	$3,9 \times 10^7$	$4,7 \times 10^7$	$5,2 \times 10^7$	$5,8 \times 10^7$

DBO: demanda bioquímica de oxigênio; DQO: demanda química de oxigênio; NMP: número mais provável.

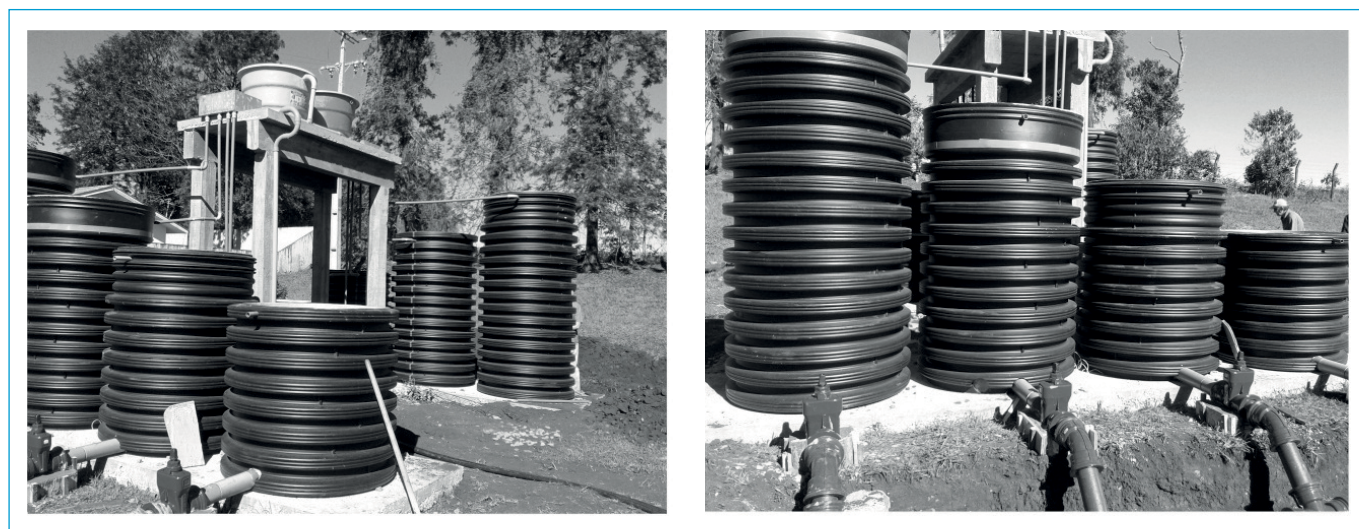


Figura 2 - Instalação experimental dos biofiltros submersos localizados na estação de tratamento de esgoto Norte da Companhia de Saneamento do Paraná em Cascavel (PR).



Figura 3 - Biofiltros submersos em polietileno de alta densidade com diâmetro nominal de 1.050 mm revestidos internamente com fibra de vidro.

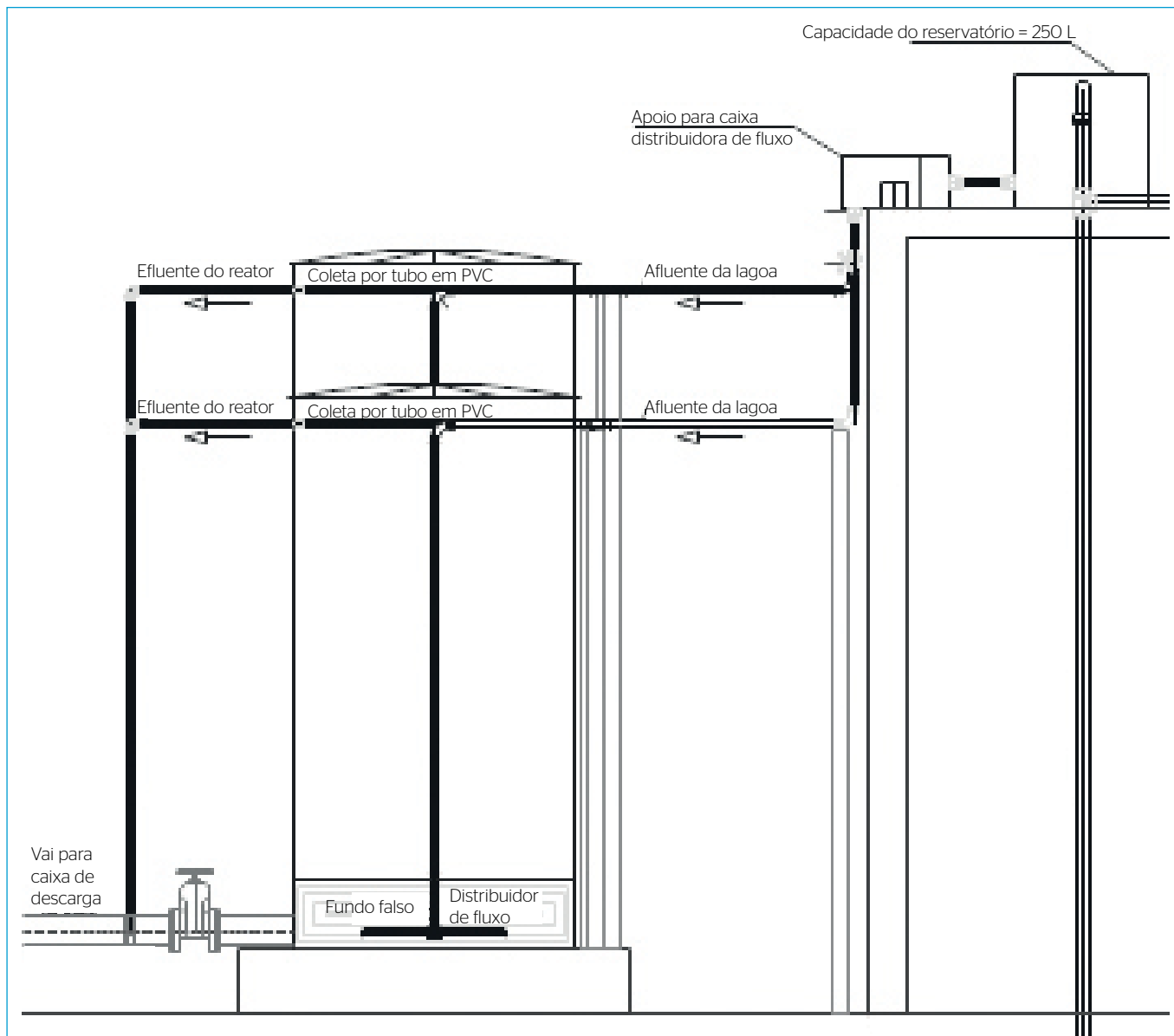


Figura 4 - Recheio dos biofiltros submersos (brita nº 3) e corte dos biofiltros mostrando seu fundo falso.

O afluente dos biofiltros submersos era conduzido por um tubo de PVC com DN de 25 mm, passando pelo interior do recheio, distribuindo-se o fluxo por uma malha do mesmo tubo, com furações de $\varnothing = 8$ mm. O fluxo ascendente ocorreu uniformemente no fundo falso em fibra de vidro reforçada, pelas furações nele executadas em malha de 10 cm, com furos de $\varnothing = 20$ mm.

Após passagem pelo leito filtrante do biofiltro submerso, três trechos de tubulações em PVC com DN de 25 mm, com furos de $\varnothing = 10$ mm, cada um com 3 cm, coletavam, na superfície, o efluente final, de modo uniforme, buscando-se evitar caminhos preferenciais (Figura 5).

Os reservatórios de entrada, as caixas distribuidoras de vazão e os biofiltros submersos foram cobertos com tampas em fibra de vidro, conforme a Figura 6.

Dimensionamento dos biofiltros submersos

Para o estudo, foram consideradas duas zonas de captação na lagoa de maturação da ETE Norte em Cascavel (PR), a superficial (ZS) e a intermediária (ZI). Para cada uma delas, foram considerados, para o estudo, quatro biofiltros submersos, totalizando oito unidades. No dimensionamento dos biofiltros, foram observados os seguintes parâmetros e dados:

- diâmetro do biofiltro = 105 cm;
- recheio em pedra brita nº 3;
- alturas dos recheios variando entre 50, 100, 150 e 200 cm;
- taxa de aplicação volumétrica de $0,50 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ adotada com base em Sezerino *et al* (2005): 0,17 a $1,48 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$; Andrada (2005): $0,80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$; Middlebrooks (1988): $0,80 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$; EPA (1983): Eudora (Kansas) — até $1,20 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ ($0,40 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ no inverno) — Califórnia e Missouri — 0,25 e $0,40 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$ — e Veneta (Oregon) — $0,3 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3} \cdot \text{d}^{-1}$.

Um fluxograma descritivo dos dez pontos de amostragem é apresentado a seguir na Figura 7.

Como resultado da taxa de aplicação volumétrica, a vazão varia segundo a altura do recheio, conforme apresentado nas Tabelas 3 e 4.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Análise dos valores de clorofila A

Os resultados de clorofila A (Tabela 5) foram obtidos para os dez pontos de amostragem do SBS e, nas Tabelas 6 e 7 e nas Figuras 8 e 9, temos os valores dessa clorofila para a ZS e a ZI, separadamente. Na Tabela 8 e nas Figuras 10 e 11, são apresentados os dados de eficiência de remoção dessa variável.

Os resultados de clorofila A são correlacionados à quantidade de algas nos afluentes e efluentes dos biofiltros submersos do experimento. Os valores de eficiência de remoção dessa clorofila nos biofiltros submersos da zona intermediária situaram-se em valores mínimos de 3,80% e máximos de 98,30%, conforme resultados contidos na Tabela 8 e na Figura 10.



Figura 6 – Cobertura dos reservatórios, caixas distribuidoras de vazão e biofiltros submersos.

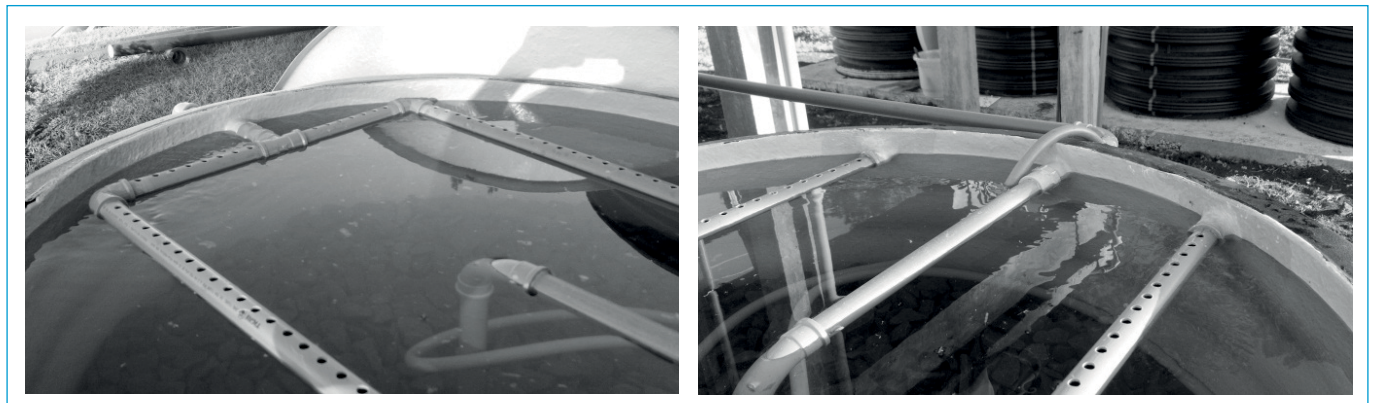


Figura 5 – Dispositivo de coleta superficial do efluente final em policloreto de polivinila com diâmetro nominal de 25 mm.

Para os biofiltros operando com afluente da ZS, o valor mínimo foi de 65,70% e o máximo de 98,10%, sendo a média de 84,45%, conforme Tabela 8 e Figura 11.

Assim, pode-se concluir que a remoção de clorofila A para os biofiltros submersos da ZS foi mais efetiva. Para os valores médios de eficiência de remoção de clorofila A, os maiores

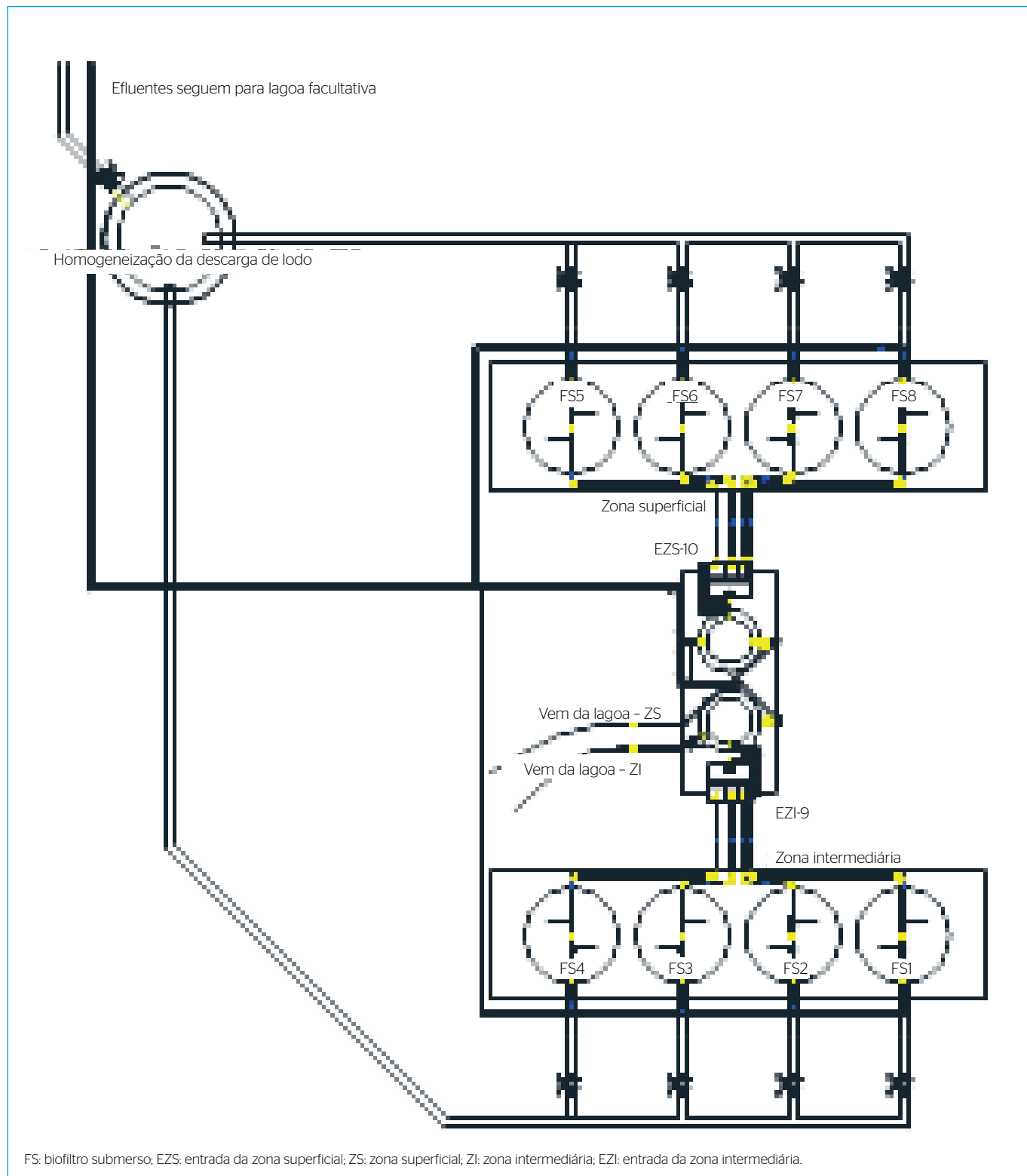


Figura 7 - Sistema de biofiltros submersos, mostrando a numeração dos pontos de coleta de amostras: 1 a 8 para os biofiltros submersos (de 1 a 4 para a zona intermediária e de 5 a 8 para a zona superficial), 9 para a entrada da zona intermediária e 10 para entrada da zona superficial.

Tabela 3 - Volume útil e volume dos recheios utilizados nos biofiltros submersos.

Volumes de biofiltros submersos		
Biofiltro	Volume vazio (m3)	Volume de pedra (m3)
1	0,866	0,433
2	1,299	0,866
3	1,732	1,299
4	2,165	1,732
5	0,866	0,433
6	1,299	0,866
7	1,732	1,299
8	2,165	1,732

Tabela 4 - Vazão volumétrica segundo o volume do recheio dos biofiltros submersos.

Unidades de bombeamento				Qtotal = 90 L.h-1		
Taxas		0,5	m3.m-3.d-1	h =	0,5	m
Diâmetro	Área	Volume	Vazão	Vazão		
m	m2	m3.m-1	m3.d-1	L.h-1		
1,05	0,8659	0,4329	0,2165	9,0195		
Taxas		0,5	m3.m-3.d-1	h =	1,0	m
Diâmetro	Área	Volume	Vazão	Vazão		
m	m2	m3.m-1	m3.d-1	L.h-1		
1,05	0,8659	0,8659	0,4329	18,0391		
Taxas		0,5	m3.m-3.d-1	h =	0,5	m
Diâmetro	Área	Volume	Vazão	Vazão		
m	m2	m3.m-1	m3.d-1	L.h-1		
1,05	0,8659	1,2988	0,6494	27,0586		
Taxas		0,5	m3.m-3.d-1	h =	0,5	m
Diâmetro	Área	Volume	Vazão	Vazão		
m	m2	m3.m-1	m3.d-1	L.h-1		
1,05	0,8659	1,7318	0,8659	36,0782		

Tabela 5 - Valores de clorofila A em $\mu\text{g.L}^{-1}$ nos 10 pontos do sistema de biofiltros submersos.

		Pontos de coleta									
		BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZI	EZS
2013	15/dez.	60,84	4,6	24,67	46,04	16,12	6,91	7,89	89,46	296,99	361,12
	30/dez.	23,02	48,68	63,80	36,18	75,64	34,2	26,97	56,24	231,87	227,92
2014	15/jan.	165,43	110,18	124,32	112,15	73,67	68,08	27,63	20,39	948,19	758,75
	30/jan.	52,95	28,28	97,02	39,47	87,48	90,77	112,48	45,39	455,84	557,47
	15/fev.	4,6	5,92	7,89	2,3	33,55	17,43	1,97	1,32	57,23	295,01
	07/mar.	59,84	69,64	124,85	102,31	60,43	70,21	66,35	62,65	435,21	235,41
	16/abr.	250,12	159,84	307,84	61,67	145,53	174,15	185,49	144,05	357,17	540,69
	30/abr.	37,00	32,56	63,64	44,40	43,41	56,73	46,87	39,96	334,48	336,45
	15/mai.	79,43	68,08	87,81	118,4	126,79	169,21	62,65	118,89	542,67	580,56

BS: biofiltro submerso; EZS: entrada da zona superficial; EZI: entrada da zona intermediária.

Tabela 6 - Valores de clorofila A, em $\mu\text{g.L}^{-1}$, para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.

		Pontos de coleta				
		BS-1	BS-2	BS-3	BS-4	EZI
2013	15/dez.	60,84	4,6	24,67	46,04	296,99
	30/dez.	23,02	48,68	63,80	36,18	231,87
2014	15/jan.	165,43	110,18	124,32	112,15	948,19
	30/jan.	52,95	28,28	97,02	39,47	455,84
	15/fev.	4,6	5,92	7,89	2,3	57,23
	07/mar.	59,84	69,64	124,85	102,31	435,21
	16/abr.	250,12	159,84	307,84	61,67	357,17
	30/abr.	37,00	32,56	63,64	44,40	334,48
	15/mai.	79,43	68,08	87,81	118,4	542,67

BS: biofiltro submerso; EZI: entrada da zona intermediária.

Tabela 7 - Valores de clorofila A, em $\mu\text{g.L}^{-1}$, para os biofiltros submersos alimentados com afluentes extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

		Pontos de coleta				
		BS-5	BS-6	BS-7	BS-8	EZS
2013	15/dez.	16,12	6,91	7,89	89,46	361,12
	30/dez.	75,64	34,2	26,97	56,24	227,92
2014	15/jan.	73,67	68,08	27,63	20,39	758,75
	30/jan.	87,48	90,77	112,48	45,39	557,47
	15/fev.	33,55	17,43	1,97	1,32	295,01
	07/mar.	60,43	70,21	66,35	62,65	235,41
	16/abr.	145,53	174,15	185,49	144,05	540,69
	30/abr.	43,41	56,73	46,87	39,96	336,45
	15/mai.	126,79	169,21	62,65	118,89	580,56

BS: biofiltro submerso; EZS: entrada da zona superficial.

valores foram dos biofiltros submersos 7 e 8 (150 e 200 cm, respectivamente), com os valores de 86,00 e 87,30%, respectivamente, na ZS.

CONCLUSÕES

Na avaliação da influência da profundidade de tomada de afluente de acordo com a zona lagunar (intermediária — 180 cm — e

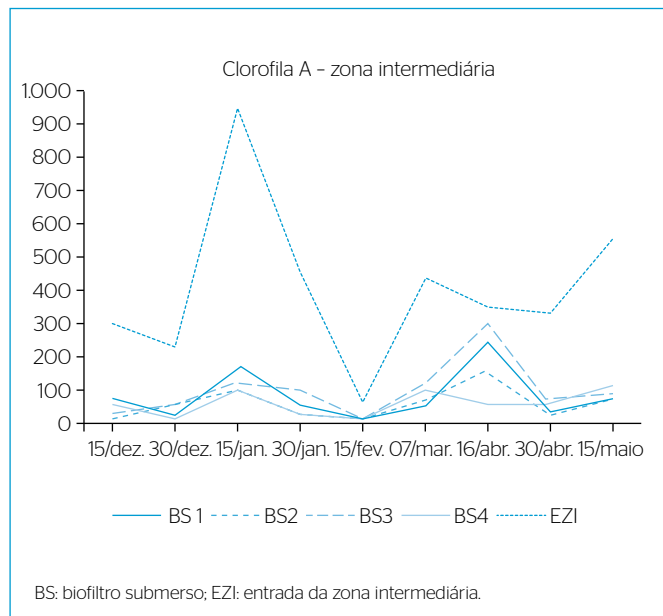


Figura 8 - Valores de clorofila A em $\mu\text{g.L}^{-1}$, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona intermediária da lagoa de maturação.

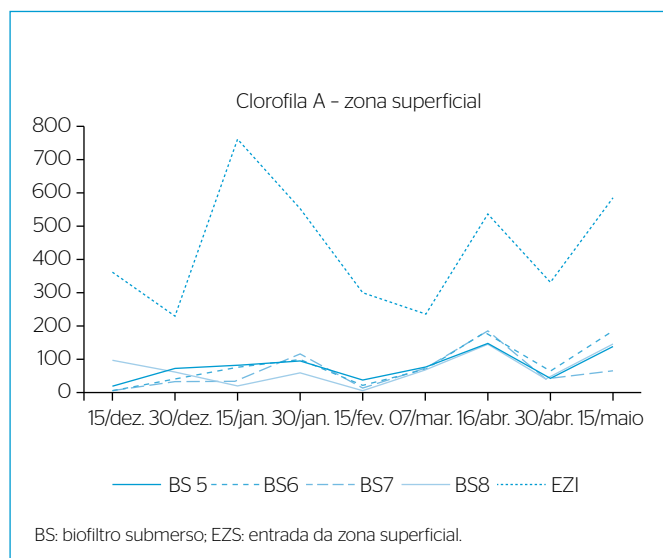


Figura 9 - Valores de clorofila A, em $\mu\text{g.L}^{-1}$, obtidos para os biofiltros submersos alimentados com afluente extraído da zona superficial da lagoa de maturação.

Tabela 8 - Valores percentuais de eficiências de remoção mínima, média e máxima para clorofila A.

Eficiência de remoção da clorofila A			
Pontos de coleta	BS-1	Mínima	30,00%
		Máxima	92,00%
		Média	80,10%
	BS-2	Mínima	55,30%
		Máxima	98,30%
		Média	85,10%
	BS-3	Mínima	13,80%
		Máxima	90,90%
Média		73,90%	
BS-4	Mínima	76,50%	
	Máxima	96,00%	
	Média	85,20%	
BS-5	Mínima	66,80%	
	Máxima	95,50%	
	Média	81,80%	
BS-6	Mínima	70,20%	
	Máxima	98,10%	
	Média	82,70%	
BS-7	Mínima	65,70%	
	Máxima	99,30%	
	Média	86,00%	
BS-8	Mínima	73,40%	
	Máxima	99,60%	
	Média	87,30%	

BS: biofiltro submerso.

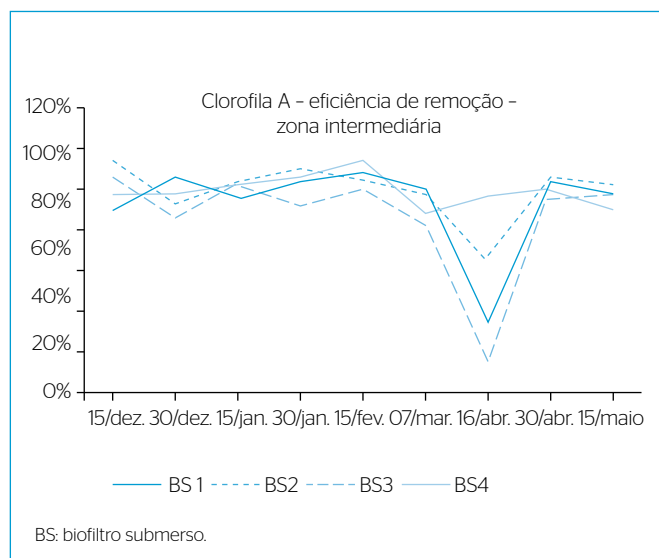


Figura 10 - Valores percentuais de eficiência de remoção de clorofila A na zona intermediária.

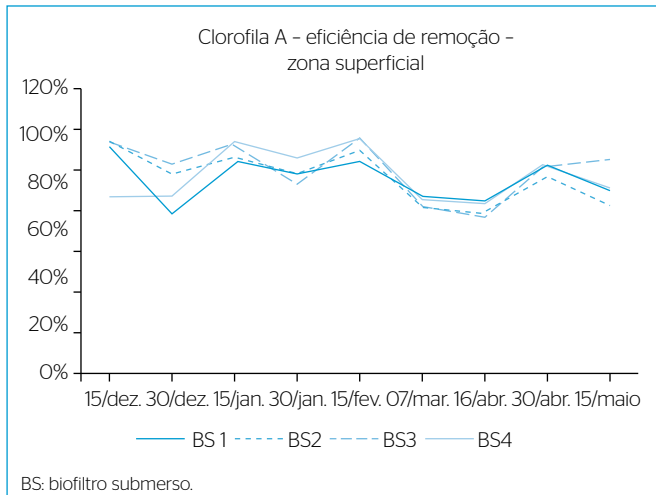


Figura 11 – Valores percentuais de eficiência de remoção de clorofila A na zona superficial.

superficial — 60 cm) sobre a eficiência de remoção das algas, constatou-se o que parece ser uma tendência geral: a tomada de afluente na ZS mostrou-se como a melhor alternativa.

Já na avaliação da influência da altura da camada filtrante de pedra brita sobre a eficiência de remoção das algas, foi observado que as camadas de maior espessura (150 e 200 cm) apresentaram os melhores resultados, com uma tendência de valores mais constantes e uniformes, para a mesma taxa de aplicação volumétrica.

Essa alternativa de pós-tratamento (SBS) exposta pela pesquisa pareceu demonstrar viabilidade de aplicação, atendendo aos requisitos da atual legislação ambiental, já que tem uma concepção de baixo custo por não necessitar de fonte de energia externa bem como por apresentar operação e manutenção simples e não dispendiosas quando comparada a outros sistemas.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DOS ESTADOS UNIDOS (USEPA). (1983) *Design Manual - Municipal Wastewater Stabilization Ponds*. U.S. Environmental Protection Agency. EPA-625/1-83015. 327 p.

ANDRADA, J.G.B. (2005) *Utilização de Filtros Grosseiros para Remoção de Algas presentes em Efluentes de lagoas de Polimento*. 115f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MIDDLEBROOKS, E.J. (1988) Review of rock filters for the upgrade of lagoon effluents. *Journal WPCF*, v. 60, n. 9, p. 1657-1662.

YEH, T.Y.; KE, T.Y.; LIN, Y.L. (2011) Algal Growth Control Within Natural Water Purification Systems: Macrophyte Light Shading Effects. *Water Air Soil Pollution*, v. 214, n. 1, p. 575-586. <http://doi.org/10.1007/s11270-010-0447-4>