

II-1163 - WETLANDS CONSTRUÍDOS: UM PROCESSO CONFIÁVEL PARA REMOÇÃO DE DBO, DQO, SURFACTANTES, SST E NITROGÊNIO AMONIAACAL EM EFLUENTES SANITÁRIOS INDUSTRIAIS

André Baxter Barreto ⁽¹⁾

Biólogo Sanitarista. Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG). Gestor Executivo na Empresa Wetlands Construídos Ltda.

Gabriel Rodrigues Vasconcellos ⁽²⁾

Engenheiro Ambiental. Mestre e Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Minas Gerais (DESA/UFMG). Gestor Operacional na Empresa Wetlands Construídos Ltda.

Débora Carvalho Boratto ⁽³⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Engenheira de Processos na Empresa Wetlands Construídos Ltda.

Edinilson Araújo Barbosa ⁽⁴⁾

Engenheiro Ambiental com especialização em Gestão Ambiental, Projetos, Engenharia de Minas e Engenharia de Segurança do Trabalho. Gerente de Meio Ambiente na Empresa SAFM Mineração.

Alice Fátima Reis ⁽⁵⁾

Técnica em Meio Ambiente pelo CETESC-MG. Técnico em Meio Ambiente II na Empresa SAFM Mineração.

Endereço ⁽¹⁾: Rua Professor José Vieira de Mendonça, n.º 770, Sala S51, Edifício BHTEC, Bairro Engenho Nogueira, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil, CEP 31310-260, Tel.: (31) 3401 1155, e-mail: andre.barreto@wetlands.com.br

RESUMO

A maioria das Estações de Tratamento de Efluentes (ETE) de pequeno porte seguem padrões pré-estabelecidos e com tendência de implantação por soluções pré-fabricadas. Essas abordagens levam a recorrentes casos de insucessos e estações com baixa confiabilidade e estabilidade no desempenho. Apesar de ser uma tecnologia consagrada internacionalmente, os wetlands construídos ainda encontram barreiras de entrada no mercado Brasileiro, especialmente por falta de conhecimento e experiências em escala real. Este trabalho tem como objetivo apresentar um caso de implantação de um ETE utilizando a tecnologia wetlands construídos, mostrando a confiabilidade e estabilidade do processo de tratamento. A ETE Wetlands, objeto deste trabalho, foi implantada em uma mineradora localizada na região metropolitana de Belo Horizonte - MG e é composta por três etapas de tratamento: taque séptico compartimentado, seguido de um wetland de escoamento horizontal subsuperficial aerado e um wetland de escoamento horizontal subsuperficial sem aeração. A área útil total da ETE Wetlands é de aproximadamente 110 m², operando com uma vazão igual a 11,2 m³/dia, equivalente a 50 usuários administrativos acrescido de 290 refeições servidas diariamente. Os dados utilizados neste trabalho decorrem de 13 meses de monitoramento. Os resultados revelam elevadas eficiências na remoção de DBO em até 99% e de DQO em até 98%, garantindo atendimento à 100% da legislação nos parâmetros DBO, DQO, SST, Óleos e Graxas e Surfactantes. Além disso, o sistema foi capaz de remover nitrogênio amoniacal, resultando em uma concentração efluente média igual a 16 mg/L. Possuindo uma baixa rotina operacional, os wetlands construídos garantiram elevadas eficiências no tratamento e produziram efluente com elevado padrão de qualidade, compatível com os requisitos para reuso não potável.

PALAVRAS-CHAVE: Wetlands Construídos, Wetlands Horizontais Aerados, Estação de Tratamento de Efluentes, Efluente Sanitário Industrial.

INTRODUÇÃO

A escolha da melhor Estação de Tratamento de Efluentes sanitários (ETE) para uma dada realidade exige a análise crítica de aspectos técnicos, econômicos e ambientais. Capacidade de atendimento aos padrões legais, estabilidade, simplicidade operacional e custo de implantação e operação, são alguns dos pilares que norteiam a seleção do processo mais adequado. No setor industrial, pela amplitude e complexidade do tema, a seleção de processos de tratamento geralmente segue padrões pré-estabelecidos e repetidos. Há também a tendência em se optar por soluções pré-fabricadas, com a expectativa de que um contrato em regime de pacote fechado (ou Turn Key) vá garantir segurança empresarial e o sucesso operacional. Essas abordagens levam a recorrentes insucessos.

Um parâmetro que geralmente não se leva em conta é a confiabilidade do processo, em poucas palavras: o percentual do tempo em que o efluente final atende os padrões de lançamento. Resumindo, esse parâmetro estatístico indica se uma ETE é ou não estável, considerando que tenha capacidade de atender aos objetivos de tratamento em um determinado tempo. A confiabilidade do processo é interessante, pois reúne fatores, condições técnicas e operacionais que, na prática, resultam ou não na estabilidade de desempenho. Conforme demonstrado por Lombard-Latune et al. (2020), a confiabilidade de processos como lagoas, fossas sépticas, biodiscos e até mesmo os lodos ativados é inferior à dos sistemas wetlands construídos. Os autores analisaram 213 ETE empregando lagoas, fossas sépticas, biodiscos, lodos ativados e wetlands construídos operando em territórios franceses ultramarinos e no Brasil. A conclusão deste trabalho foi que o processo mais confiável são os sistemas wetlands construídos.

Em geral, indústrias e mineradoras adotam três tipos de arranjos tecnológicos: 1) Sistemas anaeróbios simplificados, como fossas sépticas seguidas de filtro anaeróbio, 2) Lagoas de estabilização; 3) ou as denominadas “ETE Compacta”, que embarcam uma variedade de tecnologias de tratamento com padrões de qualidade construtiva variadas. Apesar de consagrada internacionalmente por suas vantagens exclusivas, a tecnologia wetlands construídos ainda encontra barreiras de entrada no mercado Brasileiro, especialmente por falta de conhecimento e experiências em escala real.

Para o desenvolvimento deste trabalho, foi utilizado os resultados do monitoramento de uma ETE Wetlands operando como tratamento de efluentes sanitários industriais na Mineração South American Ferro Metals (SAFM Mineração). O sistema de tratamento foi projetado pela Empresa Wetlands Construídos Ltda.

OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho foi demonstrar o desempenho de uma estação de tratamento de efluentes sanitários industriais empregando a tecnologia wetlands construídos (ETE Wetlands) na remoção da Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Surfactantes, Sólidos Sedimentáveis Totais e Nitrogênio Amoniacal.

METODOLOGIA

Descrição geral do sistema de tratamento

A ETE, implantada na SAFM Mineração, localizada na região metropolitana de Belo Horizonte – MG, é composta por três etapas de tratamento: 1) Taque séptico com três compartimentos (TS3), 2) Wetlands construídos de escoamento horizontal subsuperficial aerado (WHA), 3) Wetlands construídos de escoamento horizontal subsuperficial sem aeração (WH). A área útil total da ETE é de aproximadamente 110 m².

A vazão de projeto da ETE é de 11,2 m³/dia, equivalente a 50 usuários administrativos (50 L.funcionário.dia) acrescido com aproximadamente 290 refeições servidas diariamente (30 L.refeição.dia).

As principais dimensões das unidades de tratamento são:

- Tanque Séptico com três compartimentos (TS3): Área superficial de 5,6 m² (1,4 L x 4,0 C), profundidade de 1,5 m, volume útil de 8,7 m³ com três compartimentos.

- Wetlands Horizontal Aerado (WHA): Área superficial de 61 m², altura do meio suporte de 1,0 m, altura do nível d'água igual a 0,95 m. Preenchimento do leito: Brita 2 (diâmetro de 12,5 a 25 mm), com volume útil igual a 24,2 m³, TDH real igual a 2,2 dia. Taxa de aplicação hidráulica superficial igual a 0,2 m³.m².dia. Sistema de aeração composto por dois aeradores radiais, com motor elétrico de 1,30 kW e 1,74 cv operando de forma intermitente (20 minutos de funcionamento a cada hora).
- Wetlands Horizontal sem aeração (WH): Área superficial igual a 37,3 m², altura do meio suporte igual a 0,9 m, altura do nível d'água igual a 0,8 m. Preenchimento com Brita 2 (diâmetro de 12,5 a 25 mm), volume útil igual a 13,4 m³, TDH real igual a 1,2 dia. Taxa de aplicação hidráulica superficial igual a 0,3 m³.m².dia.

É importante destacar que o sistema de tratamento não possui gradeamento e remoção de areia, e utiliza uma bomba elevatória do tipo trituradora para alimentar o tanque séptico. O lodo séptico é removido semestralmente por caminhão auto vácuo e o corte da vegetação dos wetlands ocorre trimestralmente.

A Figura 1 mostra uma imagem geral da ETE Wetlands e o aspecto do efluente bruto e tratado.



Figura 1: Imagem geral da ETE Wetlands (foto da esquerda). Efluente bruto e tratado pela ETE Wetlands (foto da direita).

Campanhas de monitoramento

O monitoramento do sistema se iniciou no dia 12/08/2021, com cerca de 30 dias após a partida da operação da ETE Wetlands, e se estendeu até o dia 09/09/2022, contemplando um período de 393 dias de operação.

O programa de monitoramento foi dividido em duas campanhas, sendo uma extensiva, com frequência mensal nos pontos de entrada (TS3) e saída (WH) da ETE e outra campanha intensiva, com frequência semanal ao longo de 1 mês com um ponto intermediário (WHA) no sistema, além dos pontos de entrada (TS3) e saída (WH).

Para a campanha extensiva, os parâmetros monitorados mensalmente na saída do tanque séptico de três câmaras (TS3) e na saída do wetlands horizontal (WH), ao longo dos 394 dias, foram: DQO, DBO, Surfactantes, e Óleos e Graxas Totais. Para cada um desses pontos/parâmetros, o banco de dados conta com 17 resultados. O objetivo dessa campanha foi avaliar a compatibilidade dos efluentes gerados pelo processo com os padrões legais de lançamento no estado de Minas Gerais (DN COPAM-CERH 01/2008).

A campanha intensiva ocorreu em março de 2022, após aproximadamente 220 dias do início da operação, tendo sido realizadas quatro coletas ao longo de quatro semanas contemplando os parâmetros DQO, DBO, Sólidos Suspensos Totais, Nitrogênio Amoniacal, Nitrato e Alcalinidade. Essa campanha obteve quatro resultados para cada ponto/parâmetro. O objetivo dessa campanha foi avaliar a capacidade de nitrificação no wetlands horizontal aerado (WHA) e verificar se o sistema é capaz de atingir um efluente final com 20,0 mgN-NH4/L.

RESULTADOS OBTIDOS

Campanha extensiva

Na Tabela 1 é apresentado a estatística descritiva dos resultados obtidos durante a campanha extensiva de monitoramento.

Tabela 1: Estatística descritiva das concentrações afluentes e efluentes na ETE durante a campanha extensiva de monitoramento.

Estatística descritiva das concentrações	DBO		DQO		Surfactantes		O&G Totais	
	mg/L		mg/L		mg/L		mg/L	
	TS3	WH	TS3	WH	TS3	WH	TS3	WH
Número de dados	17	17	17	17	17	17	14	14
Média	580	17	931	26	10,2	0,3	35,2	10,1
Mediana	623	12	861	22	8	0	34	10,0
Mínimo	326	2	481	12	0,8	0,1	18,1	<10,0
Máximo	737	48	1649	64	41,1	0,8	66,4	11,1
Desvio padrão	131	15	303	16	9,2	0,2	14,1	0,3

TS3: Saída do tanque séptico de três câmaras. WH: efluente final da ETE, após wetland horizontal sem aeração. Limites legais DN COPAM-CERH 01/2008: DBO: 60,0 mg/L; DQO: 180,0 mg/L; Surfactantes: 2,0 mg/L; O&G Totais: 50 mg/L.

A estatística descritiva das eficiências globais de remoção na ETE durante a campanha extensiva de monitoramento é mostrada na Tabela 2.

Tabela 2: Estatística descritiva das eficiências globais de remoção na ETE.

Estatística descritiva das eficiências globais de remoção	DBO	DQO	Surfactantes	O&G Totais
	Eficiência (%)	Eficiência (%)	Eficiência (%)	Eficiência (%)
Número de dados	17	17	17	14
Média	96,6	96,8	95,3	66,9
Mediana	97,4	97,7	96,2	69,1
Mínimo	86,9	89,8	76,2	44,8
Máximo	99,7	98,7	99,6	84,9
Desvio padrão	3,7	2,7	5,5	12,8

Os resultados do monitoramento realizado revelam elevadas eficiências na remoção de DBO e DQO alcançando valores de até 99,7% e 98,7%, respectivamente, garantindo atendimento à legislação em 100% das amostras para DBO, DQO, Surfactantes e Óleos e Graxas. O arranjo de tratamento se mostrou bastante estável, mesmo com grandes oscilações na qualidade dos afluentes à ETE, o que é mostrado pelos valores de desvio padrão.

A Figura 2, a seguir, mostra os gráficos de série temporal para os parâmetros DBO, DQO, Surfactantes e O&G Totais afluentes e efluentes ao longo da campanha extensiva de monitoramento. As linhas em vermelho representam os dados efluentes da última etapa do processo (wetland horizontal sem aeração). É possível observar pouca variabilidade nos valores efluentes, mostrando a estabilidade do processo mesmo com variações de carga afluente.

As concentrações afluentes apresentam valores muito acima dos valores típicos observados na literatura, com concentrações medianas iguais a 623 mg/L de DBO e 861 mg/L de DQO. Von Sperling (2005) cita que em efluentes sanitários típicos é esperado valores em torno de 300 mg/L de DBO e 600 mg/L de DQO. Os elevados valores afluentes na ETE Wetlands podem estar associados ao elevado número de refeições servidas no local e à baixa utilização de chuveiros, caracterizando um local de trabalho, diferente de um típico efluente sanitário doméstico.

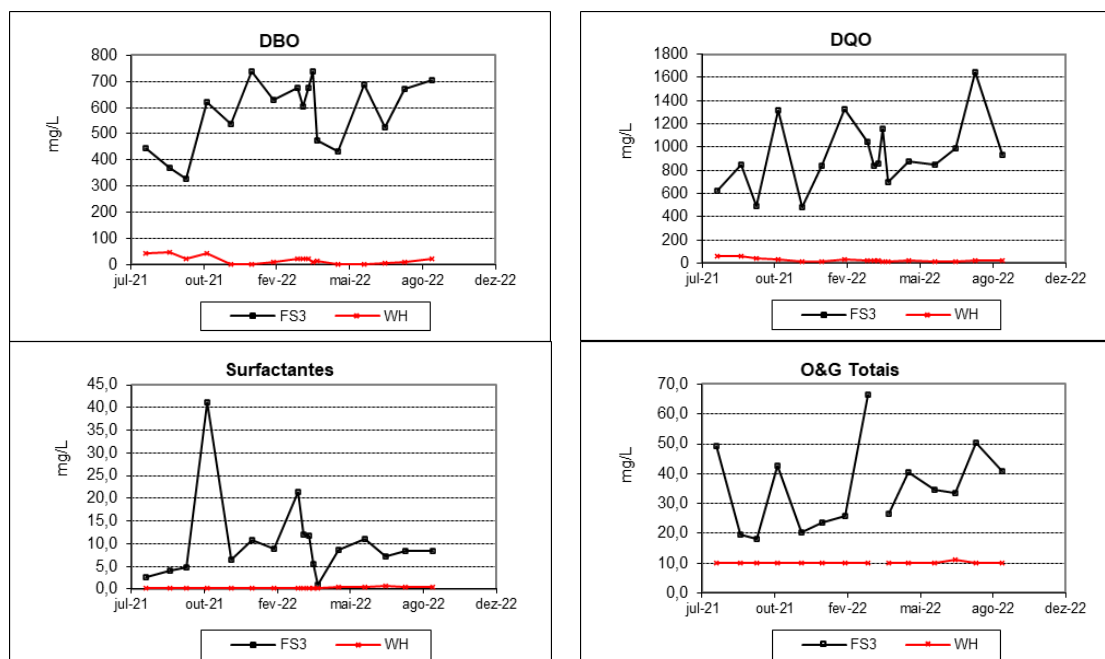


Figura 2: Gráficos de série temporal para DBO, DQO, Surfactantes e O&G Totais afluentes e efluentes.

Campanha intensiva

Na Tabela 3 é mostrado a estatística descritiva das concentrações afluentes e efluentes ao wetlands horizontal aerado (WHA) durante a campanha intensiva de monitoramento. Essa etapa foi realizada para avaliação das condições operacionais do WHA.

Tabela 3: Estatística descritiva das concentrações afluentes e efluentes ao wetlands horizontal aerado (WHA).

Estatística descritiva das concentrações	DBO		DQO		SST		N-NH4		N-NO3		Alcalinidade	
	mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mg/L		mgCaCO ₃ /L	
	TS3	WHA	TS3	WHA	TS3	WHA	TS3	WHA	TS3	WHA	TS3	WHA
Número de dados	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Média	674	23	978	29	109,5	<20,0	26,6	18,1	9,3	18,3	96,1	40,8
Mediana	676	21	956	27	108	<20,0	26,2	17,1	7,1	20,3	95,9	32,5
Mínimo	604	17	841	26	46,0	<20,0	18,8	14,8	0,1	7,5	70,0	14,2
Máximo	737	33	1161	35	177,0	<20,0	35,2	23,5	22,9	25,1	122,5	84,2
Desvio padrão	54	7	154	4	59,7	0,0	6,7	4,0	9,7	8,4	22,6	31,1

TS3: Saída do tanque séptico de três câmaras. WHA: Saída do wetland horizontal aerado.

Os resultados desta campanha mostram que o wetland horizontal aerado contribuiu para a maior parcela na remoção da matéria orgânica, sólidos e nitrogênio amoniacal, sendo que o wetland horizontal sem aeração opera apenas como polimento.

A estatística descritiva para as eficiências de remoção no wetlands horizontal aerado é mostrado na Tabela 4 a seguir.

Tabela 4: Estatística descritiva para as eficiências de remoção no wetlands horizontal aerado (WHA).

Estatística descritiva das eficiências globais de remoção	DBO	DQO	N-NH4	SST
	Eficiência (%)	Eficiência (%)	Eficiência (%)	Eficiência (%)
Número de dados	4	4	4	4
Média	96,6	97,0	29,9	76,1
Mediana	96,9	96,9	30,9	79,5
Mínimo	95,1	96,7	11,0	56,5
Máximo	97,4	97,7	46,73	88,7
Desvio padrão	1,0	0,5	16,58	14,6

A Figura 3 mostra os gráficos de série temporal da campanha intensiva de monitoramento ao longo de um mês.

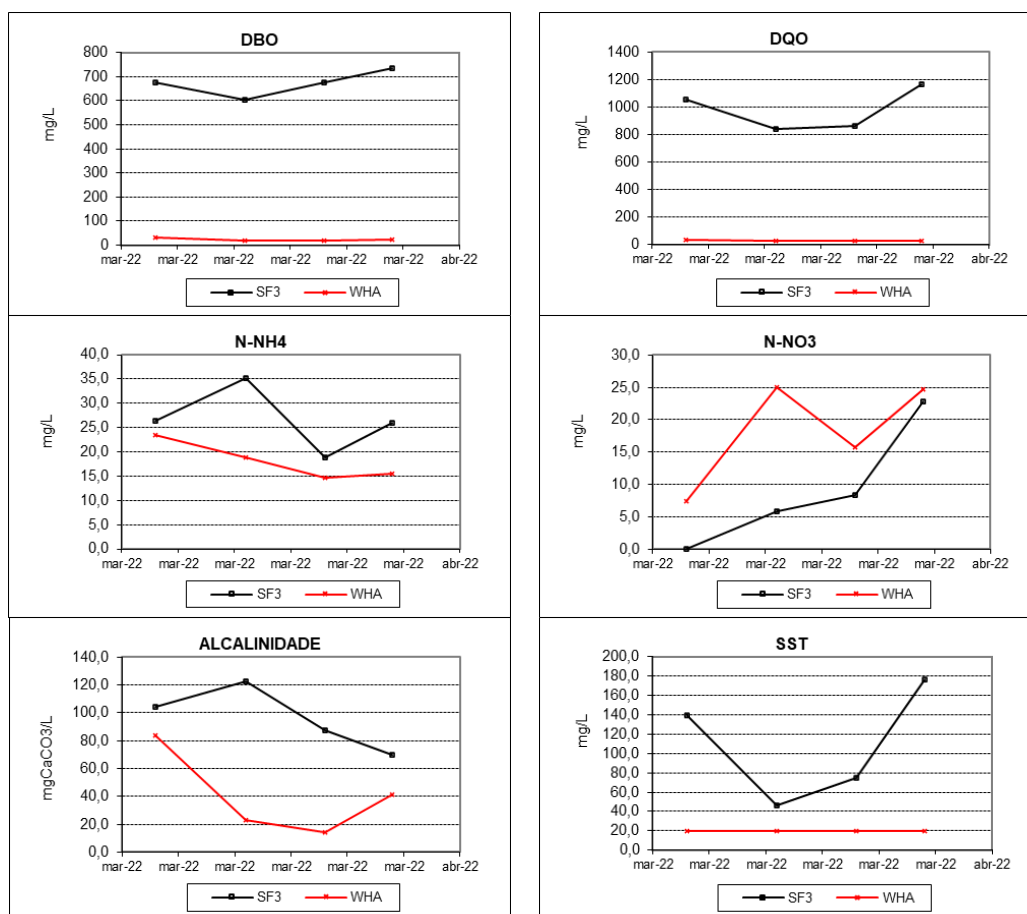


Figura 3: Gráficos de série temporal para concentrações afluentes e efluentes ao sistema wetlands horizontal aerado (WHA).

O sistema foi capaz de promover a remoção do nitrogênio amoniacal, apesar das condições operacionais fora das faixas ideais para este processo. As eficiências de remoção de nitrogênio amoniacal no WHA foram da ordem de 26%, apresentando 75% dos resultados abaixo de 20,0 mg/L. Cabe ressaltar que o WH, na sequência do WHA, contribuiu com o abatimento do nitrogênio amoniacal, sendo que o sistema produziu efluentes finais com concentrações médias de amônio iguais a 16 mg/L. Os valores médios efluentes de Nitrogênio Total e Nitrogênio Total Kjeldahl foram iguais a 43 mg/L e 19 mg/L, respectivamente.

No WHA, as taxas de carregamento orgânicas estavam elevadas, resultando numa relação C:N da ordem de 36,0 DQO:N-NH4+. Magri et al. (2013) reportam eficiências de 100% para remoção de amônio em biofiltro aerado submerso em escala piloto operando em condições em que a relação C:N foi da ordem de 3,7 a 5,0

DQO:N-NH₄⁺. Acredita-se que um dos fatores que levaram a concentrações e cargas orgânicas mais elevadas nos efluentes seja a ausência de tratamento preliminar e o uso de bomba elevatória trituradora, situação que leva à emulsão do material particulado na água.

Outro fator que pode ter limitado a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal no reator WHA são as faixas de pH e alcalinidade. A faixa ideal de pH para ocorrência da nitrificação é entre 7,5 e 8,5. Segundo Metcal e Eddy (2003) as taxas de nitrificação declinam a partir de pH 6,8. Os valores de pH na entrada do WHA ficaram na faixa de 5,0 a 6,0 (amostras pontuais mensais) ao longo de todo o período de monitoramento. Este fato pode ser observado pela forte redução na alcalinidade ocorrida no reator.

Mesmo com aeradores operando intermitentemente, as concentrações de oxigênio dissolvido no WHA mantiveram-se entre 2,0 mg/L e 4,0 mg/L ao longo do período monitorado.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com uma rotina operacional com cerca de 5 horas semanais para visitas de inspeção, o sistema de tratamento empregando (wetlands construídos) garantiu elevadas eficiências de tratamento produzindo efluentes com padrão de qualidade compatível com reuso não potável. As eficiências de tratamento para matéria orgânica, sólidos e surfactantes foram sempre superiores aos padrões estabelecidos. Além disso, a ETE Wetlands mostrou estabilidade e confiabilidade de tratamento, garantindo robustez no processo.

As eficiências de remoção de nitrogênio amoniacal foram suficientes e satisfatórias (abaixo de 20 mg/L), porém, acredita-se que com procedimentos operacionais de substituição da bomba elevatória trituradora e correção de pH seja possível aumentar significativamente o desempenho do wetland horizontal aerado na remoção deste parâmetro.

À exceção da limpeza do lodo séptico semestralmente no tanque compartimentado, o sistema não produz lodos biológicos, o que facilita a rotina de operação e a aplicação da tecnologia em países de clima tropical.

O arranjo tecnológico empregando sistemas wetlands construídos é promissor para o tratamento de efluentes industriais por sua elevada eficiência de tratamento, cumprimento com padrões de lançamento mais restritivos e rotinas operacionais simplificadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. M. E. MAGRI, J. G. ZAGUINI, S. R. A. RAMOS, L. S. PHILIPPI. Otimização do processo de nitrificação com o uso de conchas de ostras como material suporte em reatores aeróbios com biomassa fixa. Abril/Junho 2013, Eng. Sanitária Ambiental 18(2):123-130.
2. METCALF & EDDY (2003) Wastewater Engineering: Treatment and Reuse. 4th Edition, McGraw-Hill, New York.
3. MINAS GERAIS. Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Minas Gerais: Diário Oficial do Estado, 20 jun. 2008.
4. R. LOMBARD LATUNE, F. LERQUIER, C. OUCACHA, L. PELUS, G. LACOMBE, B. LE GUENNEC, P. MOLLE. Performance and reliability comparison of French vertical flow treatment wetlands with other decentralized wastewater treatment technologies in tropical climates. October 2020, Water Science & Technology 82(8):1701-1709. DOI:10.2166/wst.2020.444.
5. VON SPERLING, M. V. (2005) Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias, Vol. 1. DESA-UFMG, Belo Horizonte.