



AValiação e Adaptação do Desempenho Ambiental de uma Estação de Tratamento de Efluentes Compacta e Energeticamente Autárquica

Francine Santiago Bucco⁽¹⁾

Engenheira Química pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUCPR). Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial pelo programa de Dupla Diplomação MAUI/WASTE pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela Universität Stuttgart (Alemanha) e pelo SENAI-PR. Desenvolveu pesquisa de dissertação do mestrado no Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft (Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Resíduos Sólidos, ISWA) na Universität Stuttgart.

Karen Juliana do Amaral⁽²⁾

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Mestre e Doutora em Engenharia Civil, com ênfase em Recursos Hídricos, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) e Universität Stuttgart, Alemanha. Pesquisadora da Universität Stuttgart no ISWA. Coordenadora e professora permanente do Programa de Pós Graduação - Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI) da UFPR, Universität Stuttgart e SENAI-PR.

Daniela Neuffer⁽³⁾

Pós-graduada em Engenharia Civil e Doutora em Técnicas de Proteção Ambiental pela Universität Stuttgart (US), Alemanha. Pesquisadora e consultora da US no Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Resíduos Sólidos. Coordenadora e professora permanente dos Programas de Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI) da UFPR, US e SENAI-PR e da Doupla Diplomação MAUI/WASTE. Membro do comitê para Resíduos de Óleo e Graxas da Associação DWA.

Uwe Menzel⁽⁴⁾

Pós-graduado em Engenharia Civil e Doutor em Técnicas de Proteção Ambiental pela Univ.Stuttgart (US), Alemanha. Diretor Acadêmico da US no Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Resíduos Sólidos (ISWA). Vice-Presidente da Plataforma de Tecnologias Ambientais na Federação das Indústrias do Estado de Baden-Württemberg. Gerente do projeto do DAAD e Professor permanente dos Programas de Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial e da Doupla Diplomação MAUI/WASTE.

Endereço^(1,2,3,4): Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft (ISWA), Universität Stuttgart (USTUTT), Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial (MAUI), USTUTT/UFPR/SENAI-PR - Stuttgart - Baden-Württemberg - CEP: 70569 - Alemanha - Tel: +49 (178) 3375848 - e-mail: franbucco@gmail.com

RESUMO

O tratamento de esgoto ainda é tema preocupante em países em desenvolvimento, como o Brasil. O objetivo desse trabalho é adaptar e avaliar o desempenho ambiental de uma estação de tratamento de efluente (ETE) compacta e energeticamente autárquica. Projetos como esse apresentam grande importância para o desenvolvimento, proteção ambiental e da saúde da população de países onde falta investimento em saneamento básico. A ETE compacta em estudo é a *BioTopp* e foi instalada na Universidade de Stuttgart recebendo efluente de um equivalente populacional de 6 pessoas. Parâmetros como volume de lodo, demanda bioquímica de oxigênio (DQO) e nitrogênio foram analisados. Os resultados mostraram que a planta atinge as condições pré-estabelecidas para remoção de nutrientes, através da nitrificação e desnitrificação, além de redução de carga orgânica. A ETE *BioTopp* apresentou eficiência na remoção de DQO até 93% e de amônio até 94%. Conclui-se por fim, que a planta se apresenta como uma alternativa viável para residências, hotéis ou fazendas sem acesso a saneamento. Além disso, a ETE *BioTopp* foi operada sem requerimento de manutenção, energeticamente autárquica e com baixa geração de lodo.

PALAVRAS-CHAVE: ETE compacta, energeticamente autárquica, remoção de nitrogênio.



INTRODUÇÃO

Aproximadamente 1,3 bilhões de pessoas no mundo sofrem com falta de acesso a água potável e, em torno de, 3 bilhões de pessoas não têm acesso a disposição adequada de esgoto. Estima-se que 10 mil pessoas morrem todos os dias por doenças relacionadas a falta de saneamento básico e muitas outras sofrem com doenças debilitantes ¹.

De acordo com a Agência Nacional de Água (ANA), em média, 43% da população brasileira está conectada a sistemas de tratamento de esgoto, 12% possui tanque séptico, 18% do esgoto é coletado e não tratado e 27% não recebe coleta e/ou tratamento. Estados como Paraná e São Paulo apresentam valores maiores para coleta e tratamento. No Paraná, 64% do esgoto é coletado e tratado e 11% recebe uma solução individual. Já em São Paulo, 76% é coletado e tratado. Porém, em Rio Grande do Norte, apenas 24% é coletado e tratado e 22% apresenta solução individual ².

Na Alemanha, de acordo com o Instituto Federal de Estatística da Alemanha (*Statistisches Bundesamt*), em 2010, aproximadamente 95,7% da população estava conectada a rede coletora de esgoto, 3,4% tinha solução individual e apenas 0,09% do esgoto gerada não recebia nenhum tipo de tratamento. Além disso, mais de 2,2 milhões de pessoas estavam conectadas a estações de tratamento compactas em 2014 ^{3,4}.

ETEs compactas são utilizadas por muitos países, que incluem Alemanha, Dinamarca e China, como um tratamento eficaz de efluentes com remoção de nutrientes, sendo consideradas uma melhor solução quando comparadas com tanques sépticos e uma maneira de evitar uma descarga de efluentes em receptores como rios, lagos ou oceano ^{5,6,7,8}.

Em países subdesenvolvidos e em desenvolvimento, como o Brasil, o manejo de água e esgoto ainda é um problema preocupante, ainda mais em áreas remotas, rurais e pobres, onde há falta de recursos financeiros, operacionais e energéticos ^{5,9}.

Esse projeto é uma avaliação da ETE *BioTopp*, uma ETE compacta com baixa produção de lodo operada com energia solar, sendo uma solução viável para áreas sem tratamento público de esgoto, pois requer baixa manutenção, a operação é autárquica, ou seja, não há necessidade de mão de obra qualificada para o funcionamento da planta e é operada com energia renovável, apresentando-se como uma opção para tratamento de esgoto doméstico com remoção de matéria orgânica, nutrientes e baixa produção de lodo.

OBJETIVOS

O objetivo geral é avaliar e adaptar o desempenho ambiental de uma estação de tratamento de efluentes compacta e energeticamente autárquica.

Os objetivos específicos são:

- A. Avaliar a eficiência de remoção de nutrientes e matéria orgânica de uma estação de tratamento de efluente compacta;
- B. Adaptar os parâmetros operacionais de forma a melhorar a eficiência da estação de tratamento de efluente compacta em relação a remoção de nutrientes e matéria orgânica;
- C. Estabelecer os parâmetros operacionais ideais através de parâmetros físico e químicos (demanda química de oxigênio, nitrato, nitrito, amônia e índice volumétrico de lodo).



MATERIAL E MÉTODOS

Material

O modelo utilizado nas simulações foi o *BioTopp-Verfahren* (BioTopp-Processo), uma estação de tratamento de esgoto compacta com baixa produção de lodo, desenvolvida pela Ökoservice GmbH, empresa localizada em Denkendorf, na Alemanha. A planta de estudo é compacta e foi construída com uma capacidade para tratar esgoto de um equivalente populacional (EP) de 6 a 8 pessoas.

Os dois reatores de polietileno têm volume individual de $1,83 \text{ m}^3$, com altura do espelho de água mínima de 0,85 m e máxima de 1,10 m. A planta é projetada para tratar de 900 a 1200 L/d de esgoto, considerando $60 \text{ g BOD}_5/(\text{d}\cdot\text{EP})$ e $150 \text{ L}/(\text{d}\cdot\text{EP})$.

Métodos

O processo para o tratamento de efluente foi de lodo ativado, que contou com dois reatores em sequência do tipo *Sequencing Batch Reactor* (SBR), que corresponde a um reator de fluxo por batelada. O primeiro reator foi responsável pela degradação de carbono e desnitrificação. O segundo reator foi responsável pela nitrificação, sequencial degradação de carbono e remoção de fósforo. O lodo excedente do processo poderia ser seco em uma unidade adicional de secagem de lodo, a qual não fez parte do estudo. O processo é ilustrado na Figura 1.

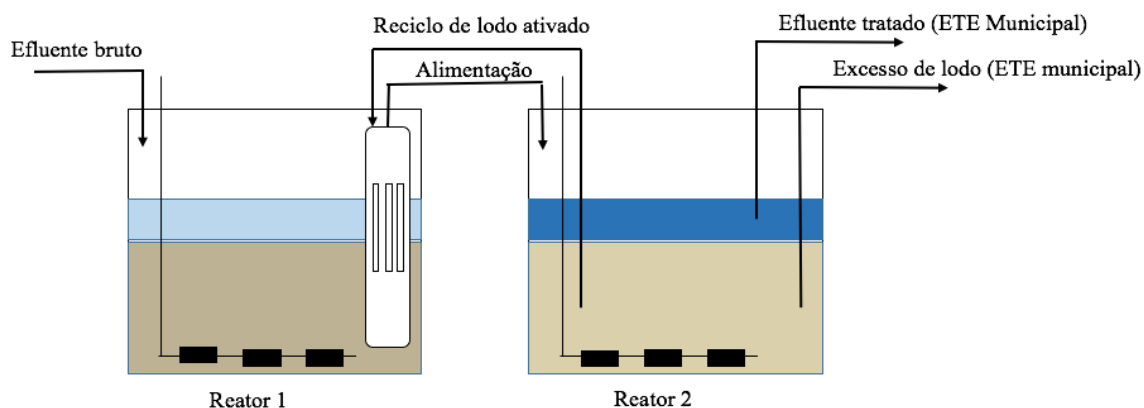


Figura 1: Processo *BioTopp*

O processo, que ocorre em batelada foi dividido em cinco modos de operação, sendo o modo de tratamento o que define o processo de degradação de carbono e nutrientes por ação de microrganismos; o modo ecológico quando a estação não recebe efluente (durante período de férias, por exemplo); o modo de descarte de efluente tratado (quando o reator 2 atinge volume máximo); o modo de remoção de excesso de lodo (que ocorre uma vez ao dia durante a madrugada) e o modo de alimentação, que é apresentado nos resultados.

A primeira etapa do modo de tratamento ocorria com bombeamento de esgoto do reator 1 para o 2, seguido de medição de nível no reator 2, onde caso o nível estivesse acima da altura máxima (1,10 m), o modo de descarte de esgoto tratado era inicializado. Caso contrário, o processo continuava com recirculação do reator 2 para o reator 1, caracterizando assim um processo de lodos ativados. A recirculação era seguida de aeração no reator 1 e, posteriormente, aeração no reator 2. A última etapa do modo de operação normal era a pausa no processo. O esquema do processo de tratamento é apresentado na Figura 2.

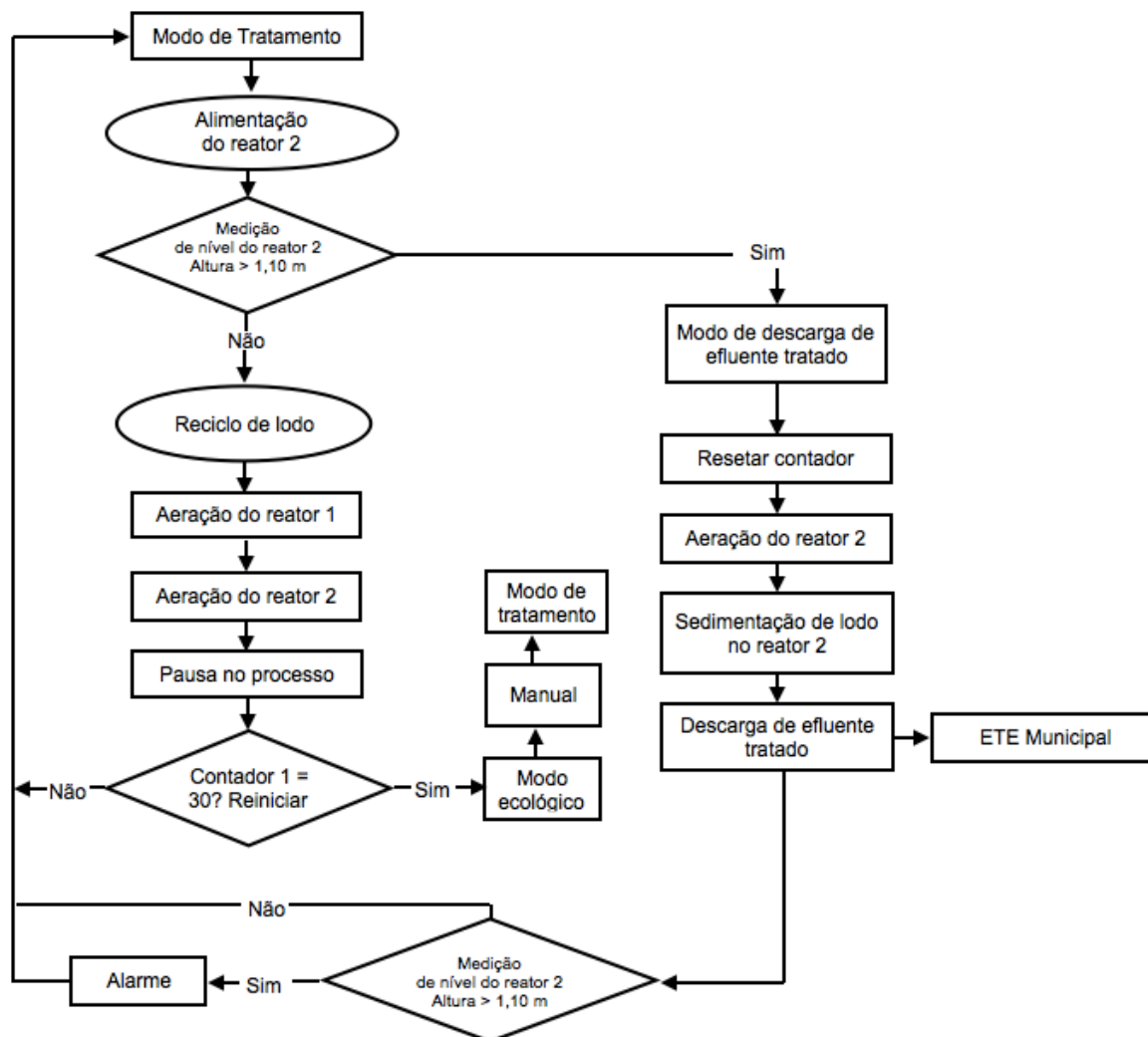


Figura 2: Fluxograma do modo de tratamento

O modo de descarte de efluente tratado ocorria após medição de nível no reator 2. O nível era identificado através de um medidor de nível localizado no próprio reator e, quando atingido o nível máximo, o modo de descarte de esgoto tratado iniciava-se com aeração no reator 2, seguido de uma pausa no processo para decantação de lodo, pois o reator 2 atua como tanque de aeração e decantador. Após decantação, o esgoto tratado era bombeado para um canal que o leva até uma ETE municipal, pois como se tratou de uma fase de teste, houve a necessidade de um pós-tratamento.

Uma vez ao dia, durante a noite, o modo de remoção de lodo excedente era acionado (Figura 3), sendo caracterizado por uma pausa no processo, para decantação de lodo e bombeamento de parte do lodo do reator para o canal que o levava para a estação municipal de esgoto.

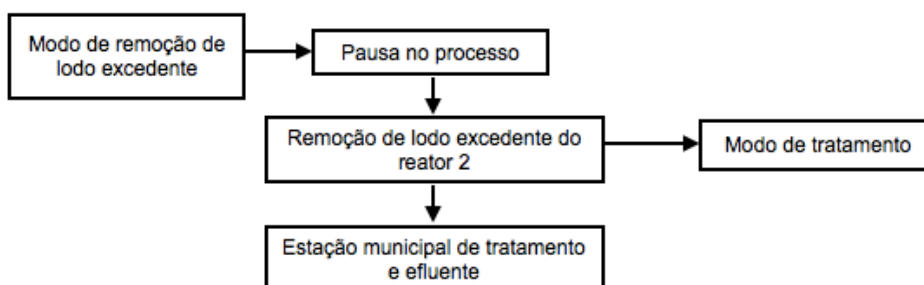


Figura 3: Fluxograma da remoção de lodo excedente

O processo de alimentação da planta do esgoto ocorreu em paralelo com os outros processos e será discutido nos resultados.

Informações gerais

A ETE *BioTopp* foi montada no Instituto de Engenharia Sanitária, Gerenciamento da Qualidade de Água e de Resíduos - ISWA (*Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft*) da Universidade de Stuttgart e está mostrada na Figura 4.



Figura 4: BIOTTOP – Reator 1 (à direita) e reator 2 (à esquerda)

O esgoto que alimentava a planta era gerado em três residências e um hotel localizados nas proximidades do instituto, sendo o equivalente populacional de 50 pessoas. O esgoto alimentava um canal com gradeamento e uma bomba submersa, que bombeava somente o volume de efluente definido para a planta. O efluente excedente que não era bombeado para a planta, fluía no canal e era encaminhado para estação municipal de tratamento de esgoto de Stuttgart-Mühlhausen. Na Figura 5, é possível observar em A a entrada do canal; em B, o gradeamento responsável por reter sólidos grosseiros; em C, a bomba submersa responsável por alimentar a ETE *BioTopp*; em D, a saída do canal; em E, a tubulação de descarga do efluente tratado; e, em F, a tubulação de descarga de lodo.

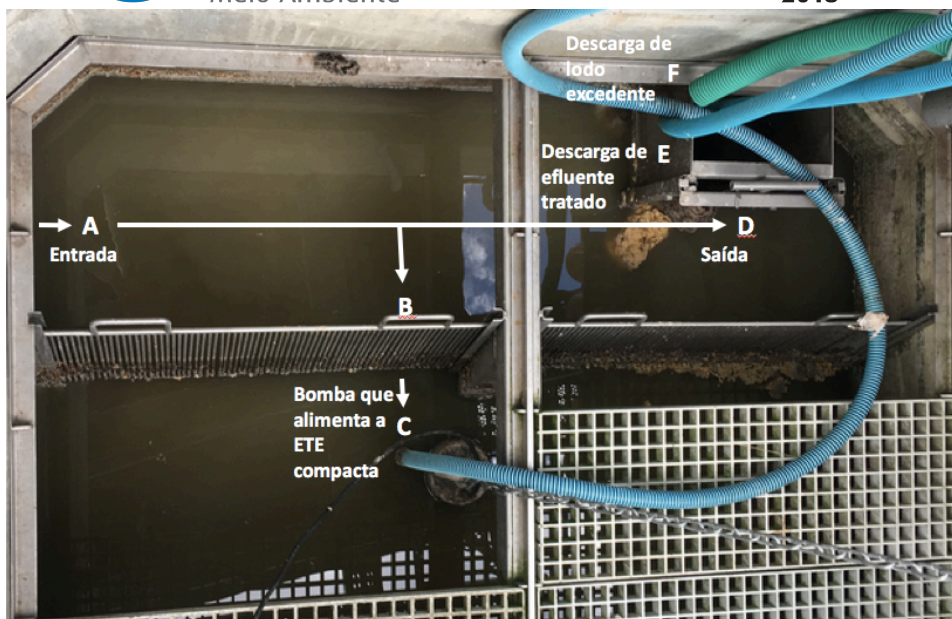


Figura 5: Canal de entrada e saída de efluente

A Figura 6 mostra a ETE *BioTopp*, a unidade de controle e o canal de entrada e saída de esgoto. A unidade de controle foi fornecida pela Festo GmbH e controlava todos os dispositivos eletrônicos da planta, como as bombas a ar pressurizado, os painéis solares e as baterias que foram utilizadas como *backup*. Os painéis solares eram da *SolarWorld* modelo *SW270 mono black* e foram utilizados 4 ligados em série. Foram utilizadas 6 baterias do modelo *BTL12-200*, de 24V com capacidade de 600 Ah ligadas ao sistema como *backup*. A bomba submersa que alimentava a estação era o único dispositivo ligado à energia elétrica, pois, em uma escala real, o efluente seria alimentado sem bombeamento, utilizando a gravidade.



Figura 6: ETE *BioTopp*



Métodos

Inicialização da planta

A planta foi montada em outubro de 2016 e operou até abril de 2017 para a análise da ETE *BioTopp* compacta sob condições extremas como, volume de afluente alta, alta carga orgânica e temperaturas baixas durante a operação para o desenvolvimento de uma dissertação de mestrado¹⁰. A partir de maio de 2017, foi iniciado o presente estudo, com instalação do painel de controle e painéis solares, para avaliação e adaptação da ETE *BioTopp* durante o verão com operação autárquica.

Os tempos de processos da ETE *BioTopp* são ilustrados na Tabela 1.

Tabela 1: Tempos operacionais

Etapa	Tempo (min)
Modo de tratamento	
Alimentação do reator 2	13
Recirculação e medição de nível*	5
Aeração do reator 1	15
Aeração do reator 2	23
Pausa no processo	30
Modo de descarga do efluente tratado	
Aeração do reator 2	30
Sedimentação de lodo no reator 2	120
Descarga de efluente tratado	30
Modo de remoção de lodo excedente**	
Pausa no processo	120
Remoção de lodo excedente	10

* se o nível máximo era atendido, o processo iniciava o modo de descarga de efluente tratado

** esse modo era automaticamente inicializado todos os dias às 23:30 e finalizado à 1:40

Fase de avaliação

Após inicialização da planta com a unidade de controle, painéis solares e alimentação, a fase de avaliação foi iniciada com intuito de verificar os parâmetros operacionais de lodo (volume de lodo e índice volumétrico de lodo) e parâmetros químicos do esgoto tratado, como demanda química de oxigênio (DQO) e remoção de nitrogênio inorgânico, sendo analisados amônia, nitrito e nitrato. Essa fase ocorreu durante o mês de julho de 2017, caracterizada pelo primeiro mês do verão europeu.

Alteração de tempo operacional

Após avaliação do funcionamento e eficiência da planta, dois testes foram realizados com intuito de simular condições de irradiação solar não favorável para suprir a demanda energética da planta. Para isso, no primeiro teste, o tempo de duração da aeração no reator 2 foi diminuída (de 23 para 18 min), sendo essa a etapa que mais consome energia durante o processo (Tabela 2). Na segunda fase, o tempo de intervalo entre a pausa no processo foi aumentado (de 30 para 40 min), como pode ser observado na (Tabela 2). Cada teste teve duração de 10 dias.

Tabela 2: Teste 1 e teste 2 para simular condições de irradiação solares não favoráveis

Etapa	Teste 1 Tempo (min)	Teste 2 Tempo (min)
Modo de tratamento		
Alimentação do reator 1	13	13



Recirculação e medição de nível*	5	5
Aeração no reator 1	15	15
Aeração no reator 2	18	23
Pausa no processo	30	40
<hr/>		
Modo de descarga de efluente tratado		
Aeração no reator 2	30	30
Sedimentação de lodo no reator 2	120	120
Descarga de efluente tratado	30	30
<hr/>		
Modo de remoção de lodo excedente**		
Pausa no processo	120	120
Remoção de lodo excedente	10	10

* Se o nível máximo era atendido, o processo iniciava o modo de descarga de efluente tratado.

** Esse modo era automaticamente inicializado todos os dias às 23:30 e finalizado à 1:40.

Coleta de amostras

As amostras do efluente bruto foram coletadas durante o bombeamento do afluente no reator 1.

As amostras do efluente tratado foram coletadas durante a descarga do esgoto tratado, conforme Figura 7. Como a descarga de esgoto tratado tinha duração de 30 minutos, o modelo de coleta de amostra foi amostra combinada, onde o valor fixo de 50 mL foi coletado em cada intervalo de 1 min durante os 30 minutos de descarga. Ao final dos 30 minutos, o volume misturado de amostra combinada de 1500 mL foi utilizado nas análises químicas.



Figura 7: Coleta de amostras do efluente tratado

A amostragem foi realizada em média 3 vezes por semana, pois a amostragem só pode ser realizada durante o período de descarga do esgoto tratada, que ocorria por batelada uma vez ao dia. As amostras foram transportadas e analisadas em duplicata no laboratório de tecnologia de Água e Efluente no ISWA.

DQO

A DQO foi determinada de acordo com a norma do Instituto Alemão de Normas DIN 38409-41 ¹¹.



Nitrogênio

As análises de amônia, nitrito e nitrato foram realizadas com teste de cubeta da Hach, medidos no espectrofotômetro HACH DR 3900 e estão especificadas na Tabela 3. Todas as amostras foram filtradas em filtros de membrana de celulose com tamanho de poros de 0.45 µm.

Tabela 3: Análise por testes de cubeta para nutrientes

Parâmetro	Teste	Faixa
Nitrato	LCK 339	1 – 60.0 mg/L NO ₃
Nitrito	LCK 341	0.05 – 2.0 mg/L NO ₂
Amônia	LCK 303	2.5 – 60.0 mg/L NH ₄

Nitrogênio inorgânico foi obtido através do somatório de nitrato, nitrito e amônia.

Controle operacional de lodo

As amostras para análises de volume de lodo e índice volumétrico de lodo foram coletadas dentro dos reatores durante o período de aeração, entre 10 as 13h, três vezes por semana. Além disso, pH e temperatura foram controlados diariamente com medições *online*.

Os sólidos suspensos sedimentáveis foram medidos de acordo com a DIN EN 14702-1 (2006)¹². Um cilindro graduado de 1000 mL foi utilizado para medir o volume de lodo decantado após 30 min em mL/L. Para volume de lodo superior a 250 mL/L, a amostra foi diluída de forma a obter valor de leitura inferior a 250 mL/L e o resultado foi multiplicado pelo fator de diluição.

O índice volumétrico de lodo foi determinado através da equação 1 e foi dado em mL/g, onde SSd representa os sólidos suspensos sedimentáveis e TS é o teor de sólidos.

$$SVI \left(\frac{mL}{g} \right) = \frac{SSd}{TS} \cdot 1000 \quad \text{Equação 1}$$

O teor de sólidos foi determinado através da filtração de 100 mL de amostra coletadas nos reatores 1 e 2 em filtros secos a 104°C e pesados (W_0). Após secagem do filtro com amostra em estufa, o filtro é resfriado em dissecador e pesado novamente (W_1). A diferença entre os pesos fornece o teor de sólidos, conforme equação 2.

$$TS \left(\frac{g}{L} \right) = (W_1 - W_0) \cdot 100 \quad \text{Equação 2}$$

Análises dos resultados

A média dos resultados obtidos foi calculada de acordo com a equação 3, onde a média é dada pela razão entre a soma dos termos e o número de termos da série.

$$A = \frac{S}{N} \quad \text{Equação 3}$$

O desvio padrão foi calculado de acordo com a equação 4, onde σ é o desvio padrão, N é o número de termos, x é um valor amostral e u é a media da população.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - u)^2} \quad \text{Equação 4}$$



A eficiência de remoção foi calculada de acordo com a equação 5.

$$eficiência (\%) = \frac{Entrada - Saída}{Entrada} \cdot 100 \quad \text{Equação 5}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Alimentação

O bombeamento de efluente bruto na ETE *BioTopp* foi programado de acordo com picos que ocorrem em uma residência, onde a maior geração de efluente acontece durante os períodos da manhã, almoço e fim do dia (Figura 8). A alimentação de efluente foi realizada para equivalente populacional de 6 pessoas, sendo a carga diária de 150 L/EP, totalizando uma alimentação de efluente de 900 L/d^{13, 14}.

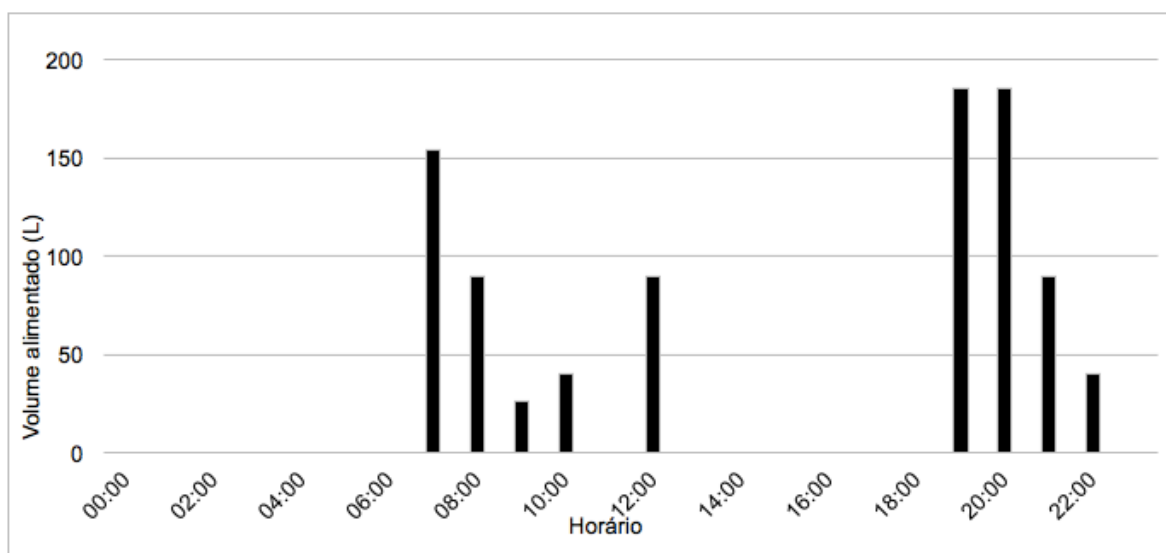


Figura 8: Tempos de alimentação da ETE *BioTopp* para EP 6

Avaliação de parâmetros físicos da ETE *BioTopp*

Durante o período de avaliação, que ocorreu durante o mês de julho de 2017, foi observado que o pH manteve-se entre $7,8 \pm 0,3$ no reator 1 e $7,7 \pm 0,3$ no reator 2, atendendo os valores aceitáveis para nitrificação (5,8 - 8,5 para *Nitrosomonas* e 6,5 - 8,5 para *Nitrobactérias*) e para desnitrificação (6,5 - 8,5)¹⁵.

A ETE *BioTopp* tem baixa produção de lodo, pois o tratamento não conta com uma decantação primária, onde há geração de lodo fecal, que necessita de tratamento e disposição final, os quais geram custos adicionais na operação das ETes que possuem essa etapa de tratamento. O lodo gerado na ETE *BioTopp* é o lodo excedente do reator 2, que é removido por batelada uma vez ao dia.

Os sólidos suspensos sedimentáveis (SSV) no reator 1 manteve-se entre 800 - 1200 mL/L e, no reator 2, 500 a 600 mL/L (Figura 9).

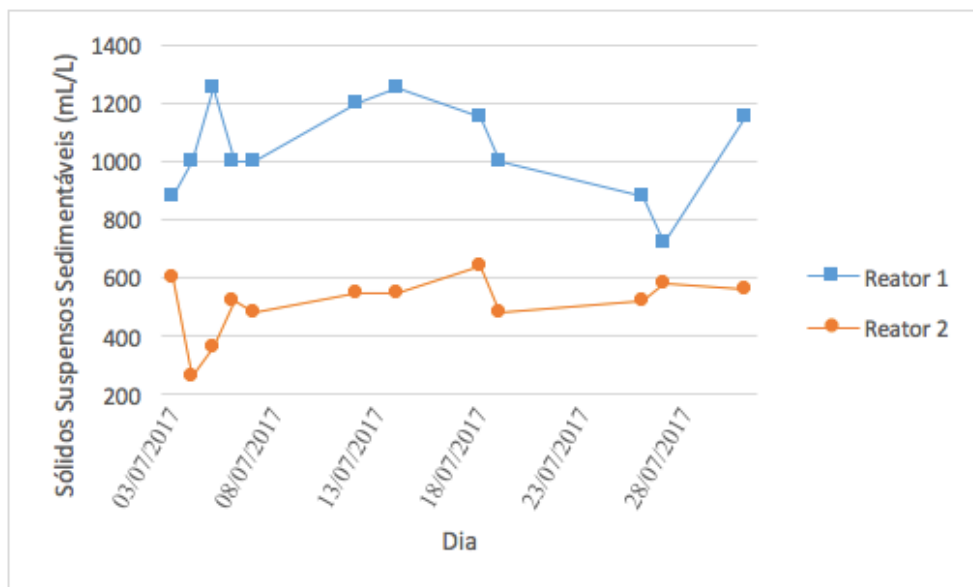


Figura 9: Sólidos suspensos sedimentáveis no sistema

O índice volumétrico de lodo (IVL) foi calculado com base no sólidos suspensos sedimentáveis e concentração de sólidos, de acordo com a Figura 10. O IVL é um dos parâmetros mais importantes no controle operacional de um processo de lodos ativados. O valor ideal varia de acordo com cada ETE, porém a maioria apresenta resultados satisfatórios na faixa de 40 - 200 mL/g^{16,17}, entretanto o recomendado para a ETE *BioTopp* é entre 80 - 120 mL/g.

Durante os experimentos, o IVL permaneceu entre 100-160 mL/g. É possível observar no gráfico um grande pico (506,61 mL/g), que pode ser explicado por uma queda de energia ocorrida durante um dia de intensa chuva, no dia 16 de julho, em que a planta permaneceu sem energia, ocasionando um colapso no sistema. Enquanto o IVL no reator 1 aumentou, devido ao decaimento de sólidos totais, o IVL no reator 2 teve um decréscimo em decorrência de anaerobiose, que levou a um aumento na concentração de sólidos totais. A estação voltou a operar normalmente no dia 18 de julho.

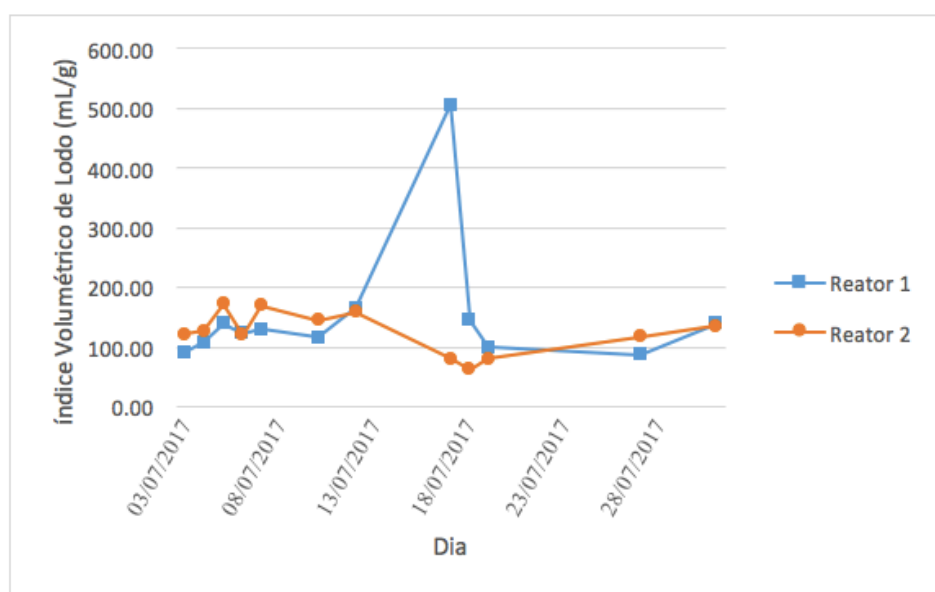


Figura 10: Índice volumétrico de lodo (IVL)

De acordo com os parâmetros relacionados ao lodo, a planta apresentou resultados que indicam bom funcionamento. Além disso, o processo de lodos ativados por batelada é caracterizado pela geração de lodo



excedente estabilizado, o que reduz os custos operacionais da planta, pois não necessita de tratamento adicional de lodo.

Avaliação dos parâmetros químicos no efluente tratado

Na análise dos parâmetros químicos do efluente foram coletadas amostras do afluente e do efluente. Os resultados mostrados na Figura 11 para a Demanda Química de Oxigênio (DQO) no afluente apresentam bastante flutuação, o que indica uma instabilidade com valores entre 400 e 1200 mg/L. Isso pode ser explicado pela alimentação da estação com efluente bruto de carga orgânica muito variável.

Para o efluente tratado, a planta foi projetada e operada para atender o valor de DQO inferior a 150 mg/L, de forma a atender a legislação alemã para estações compactas de tratamento de esgoto de acordo com o Instituto Alemão para o setor de construções (DIBt - *Deutsches Institut für Bautechnik*)¹⁸. No Brasil, não existe legislação específica para estações de tratamento de efluentes compactas. Porém, de acordo com o Decreto n. 7.217/2010¹⁶, quando um sistema público de tratamento de efluente não é disponível, uma solução individual é permitida e fiscalizada pela secretaria de meio ambiente, ministério da saúde e conselho regional de engenharia. Uma das soluções apresentadas e corriqueiras nessa situação, é a instalação de um tanque séptico, que deve estar de acordo com os padrões de projeto, instalação e operação definidos na norma ABNT NBR 13.969/1997²⁰. Os parâmetros para lançamentos de efluentes provenientes das estações municipais de tratamento de efluente estão definidos na Resolução CONAMA 430/2011²¹, que determina para lançamento de efluentes domésticos, pH entre 5 – 9, DBO₅ inferior a 120 mg/L ou remoção mínima de 60%, material sedimentável inferior a 1 mL/L, temperatura abaixo de 40°C e ausência de material flutuante.

O valor médio de DQO para o efluente foi de 142 mg/L, com desvio padrão de 114 mg/L. Quanto à eficiência de remoção, a planta apresentou média de 83% de remoção de DQO, valor abaixo de 90% que é o esperado para ETE compactas de SBR²². Entretanto, o fato pode ser explicado pelas grandes flutuações no efluente de entrada, provavelmente devido à diferentes atividades no hotel que foi responsável por grande parte do efluente que alimentou a planta.

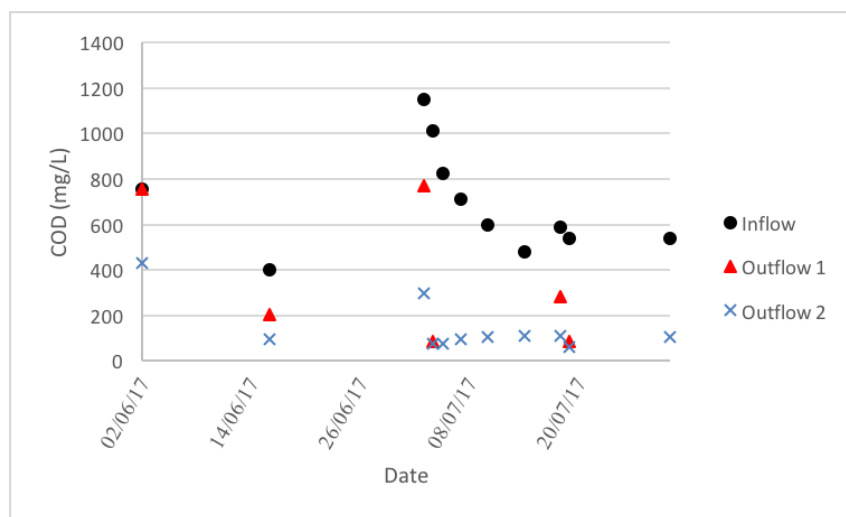


Figura 11: Concentração de Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Na Alemanha o valor de demanda bioquímica (DBO) não é um parâmetro comumente utilizado para controle de efluentes tratados, tendo em vista que o resultado é dado cinco dias após a coleta da amostra, porém pode ser estimado de acordo com a relação de DBO/DQO encontrada na literatura para esgoto doméstico, sendo a relação dada entre 0,4 - 0,6^{13, 23, 24}. Para os cálculos, o valor médio foi considerado (0,5). Os resultados teóricos mostram que a remoção de DBO foi maior que 74% em todas as amostras analisadas o que mostra que a ETE *BioTopp* atende à legislação brasileira CONAMA 430/11, onde a remoção mínima exigida para DBO é de 60%.



Nos últimos anos, a importância de remoção de nutrientes tem aumentado em estações de tratamento de efluentes, de forma a evitar a eutrofização de corpos de água em função do lançamento de efluentes contendo nitrogênio e fósforo. A ETE *BioTopp*, diferentemente de um tanque séptico, promove a remoção de nitrogênio e fósforo, que é possibilitada pela configuração de um reator anóxico (reator 1) e de um reator aeróbio (reator 2). No reator 1 ocorre, além de da remoção de matéria orgânica, também a desnitrificação, enquanto no reator 2 ocorre a remoção de matéria orgânica, nitrificação e remoção de fósforo¹⁴.

A remoção de nitrogênio foi avaliada através dos parâmetros de nitrito, nitrato e amônia, totalizando juntos nitrogênio inorgânico. A Tabela 4 mostra os resultados de nitrogênio inorgânico para o efluente tratado, sendo que em média a remoção foi de 62%, sendo valor teórico esperado em 10 a 70% em testes realizados na Suíça²², demonstrando que a planta é eficiente quanto a remoção de nitrogênio.

Tabela 4: Concentração de nitrogênio inorgânico no efluente tratado

Date	N _{inorg.} (mg/L)
03/07/17	14
04/07/17	18
05/07/17	22
07/07/17	10
10/07/17	3
14/07/17	14
18/07/17	16
19/07/17	25
30/07/17	11

Comparando os resultados obtidos com estudos realizados na Suíça²², é possível observar que a planta em questão opera com valores de remoção de DQO maior que em resultados obtidos em diferentes tratamentos, como tanques sépticos (0-10%), filtros biológicos (10-40%) e filtros de areia (10-20%). O tratamento mostra-se comparável com os de uma ETE de escala normal (60%) e zona de raízes (10-90%).

Estabelecimento de parâmetros operacionais ideais

Após a fase de avaliação, dois testes foram realizados baseados na mudança no tempo de aeração no reator 2 e, no segundo, com aumento no tempo de pausa do processo, com objetivo de verificar a remoção de matéria orgânica e nitrogênio associada à economia de energia. Durante essa fase, o primeiro teste foi caracterizado pela redução de aeração no reator 2 de 23 para 18 minutos. Os resultados apresentados para DQO do efluente tratado foram melhoradas, sendo a média 81 mg/L com desvio padrão de 30 mg/L. O valor mínimo encontrado foi 56 mg/L e o máximo 123 mg/L, atingindo em média uma eficiência de remoção de 88%. Os resultados para remoção de nitrogênio inorgânico também foram melhorados, sendo a remoção de amônia 78±16% e nitrogênio inorgânico 72±17%.

No segundo teste, o tempo de pausa do processo foi alterado de 30 para 40 minutos. Observou-se que a eficiência média de remoção de DQO foi 84±9%, inferior ao teste anterior, porém a remoção de amônia foi aumentada para 90±9%, assim como a remoção de nitrogênio inorgânico, que foi 78±8%. Os resultados e comparações são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Comparação de remoção de DQO

Fase	Eficiência máxima	Eficiência mínima	Média
Avaliação	93%	74%	80±8%
Teste 1	93%	75%	88±7%
Teste 2	93%	72%	84±9%



Tabela 6 mostra comparação entre eficiência de remoção de nitrogênio durante os testes. É observado melhora na remoção no teste 2, que também apresenta melhor remoção de amônia.

Tabela 6: Comparação de remoção de nitrogênio

	Amônia	Nitrogênio inorgânico
Fase	Average efficiency	Average efficiency
Avaliação	72±16%	63±12%
Teste 1	78±16%	72±17%
Teste 2	90±9%	78±8%

Com os resultados apresentados, é possível concluir que diminuindo o tempo de aeração no reator 2, há aumento na capacidade de remoção de matéria orgânica, assim como aumentando o tempo de pausa no processo há melhora na capacidade de remoção de nitrogênio, sendo esses resultados preliminares para um período de testes de 10 dias cada. Para melhores conclusões, é recomendado analisar a eficiência durante um período de pelo menos 5 semanas, assim como a combinação dos testes 1 e 2, a fim de observar se, dessa forma, remoção de carbono e nitrogênio são atingidas no mesmo período. No entanto, o objetivo do estudo em questão foi de avaliar se em um período de 10 dias de baixa irradiação global horizontal, onde energia no processo deve ser economizada, seria possível manter boa eficiência no processo.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A ETE BioTopp é uma estação de tratamento de efluentes autárquica com baixa geração de lodo e capaz de operar com energia solar. Também apresenta capacidade de remoção de carbono e nutrientes dos efluentes. Esse tipo de solução se mostra como uma alternativa à universalização do saneamento, podendo ser instalada em residências, restaurantes, fazendas e hotéis localizados em áreas sem acesso a rede pública de tratamento de esgoto. Os resultados do tratamento podem ser considerados superiores àqueles obtidos por meio do tratamento em tanque séptico, pois a ETE BioTopp atua com remoção de nutrientes.

Durante os meses de junho a agosto de 2017 não houve necessidade de manutenção. Também foi possível operar a planta com utilização de painéis solares durante o verão europeu sem falta de energia apresentado. Com isso pode-se concluir que a planta é simples de operar, com autarquia e sem requerimento regular de manutenção.

Os parâmetros operacionais de lodo demonstraram que, durante o período de estudo, o índice volumétrico de lodo permaneceu entre 100 a 160 mL/g, sendo valores aceitáveis para tratamentos por lodos ativados, mostrando que o lodo é de alta qualidade. Além disso, o processo tem baixa produção de lodo por não apresentar etapa de decantação primária e, portanto, não gerar lodo fecal. Assim como a configuração de lodos ativados por batelada garante geração de lodo excedente estabilizado. Sendo assim, a estação não gera lodo que necessita de tratamento posterior, diminuindo os custos do tratamento.

Na fase de avaliação, a eficiência de remoção de nitrogênio inorgânico foi em média 62%, melhor do que a demonstrada em estudos para tanques sépticos e dentro da faixa esperada para reatores do tipo SBR (10 a 70%).

A eficiência média durante a fase de avaliação para DQO foi de 83%, maior que em resultados obtidos em diferentes tratamentos, como tanques sépticos (0-10%), filtros biológicos (10-40%) e filtros de areia (10-20%). O tratamento apresenta resultados mais satisfatórios do que de uma ETE de escala normal (60%) e zona de raízes (10-90%).

Nos testes 1 e 2, a estação mostrou ser mais eficiente na remoção de matéria orgânica com a diminuição do tempo de aeração (teste 1) e mais eficiente na remoção de nitrogênio com uma pausa maior entre os ciclos do processo (teste 2).

A ETE *BioTopp* foi projetada para tratar efluentes de um equivalente populacional de 4 a 6 pessoas, porém há possibilidade de construir reatores maiores e adequar o tratamento para tratar equivalente populacional de até 250 pessoas.



A ETE *BioTopp*, além de se apresentar com uma solução ambientalmente adequada para tratamento de efluentes, é uma opção economicamente viável para hotéis e resorts em áreas afastadas, muito corriqueiros no Brasil. Além disso pode ser utilizada como uma alternativa para promoção de marketing direcionado ao mercado de turistas que procuram ecoturismo e agricultura sustentável.

Em conclusão, é recomendado:

- Análises de DBO do afluente e efluente, para classificação completa da estação de acordo com a legislação brasileira CONAMA 430/11.
- Instalação da ETE *BioTopp* para testes pilotos no Brasil.
- Operação e avaliação da eficiência da planta com as alterações sugeridas no teste 1 e 2, pelo período de 5 semanas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BOSCH, C.; HOMMANN, K.; RUBIO, G.; SADOFF, C.; TRAVERS, L. *Poverty Reduction Strategy Paper Sourcebook, Water and Sanitation. Macroeconomic and Sectorial Approaches*. Volume 2, World Bank, Washington, D. C., 2002.
2. ANA, 2016. Atlas Esgotos: Despoluição das Bacias Hidrográficas. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br>. Acesso em 21 de dezembro de 2016.
3. *Statistisches Bundesamt* (Escritório de estatística federal alemão). *Environment: Public*.
4. DURTH, A.; KOLVENBACH, F. J. *Abwasser und Klärschlamm in Deutschland - statistische Betrachtungen. Korrespondenz Abwasser, Abfall*. N. 12 (61), p. 1105-1012, 2014.
5. BRIX, H.; ARIAS, C. A. *The use of vertical flow constructed wetlands for on-site treatment of domestic wastewater: New Danish guidelines. Ecological Engineering*, Aarhus, DIN, n. 25, p. 491-500, 2005.
6. MATAMOROS, V., ARIAS, C., BRIX, H., BAYONA, J.M. *Preliminary screening of small-scale domestic wastewater treatment system for removal of pharmaceutical and personal care products. Water Research*. n. 43 (1), p. 55-62, 2009.
7. WU, S; AUSTIN, D.; LIU, L.; DONG, R. *Performance of integrated household constructed wetland for domestic wastewater treatment in rural areas. Ecological Engineering*, Pequim, CHN, n. 37, p 948-954, 2011.
8. WU, H.; FAN, J.; ZHANG, J.; NGO, H. H.; GUO, W.; HU, Z.; LIANG, S. *Decentralized domestic wastewater treatment using intermittently aerated vertical flow constructed wetlands: Impact of influent strengths. Bioresource Technology*, Pequim, CHN, n. 176, p 163-168, 2015.
9. REN, X.; SHON, H.K.; JANG, N.; LEE, Y. G.; BAE, M.; LEE, J.; CHO, K.; LIM, I. S. *Novel membrane bioreactor (MBR) coupled with a nonwoven fabric filter for household wastewater treatment. Water Research*. n. 42, p. 338- 346, 2009.
10. HEIDRICH, M. *Weitestgehende Abwasserreinigung mittels einer Kleinkläranlage unter erschwerten Bedingungen. 2017*. Dissertação de mestrado da Universidade de Stuttgart-*Arbeitsbereich Industrielle Wasser- und Abwassertechnologie*, Stuttgart, 2017.
11. DIN 38409-41. *Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Summarische Wirkungs- und Stoffkenngrößen (Gruppe H); Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) im Bereich über 15 mg/l (H 41)*. Berlim, DE, 198.
12. DIN EN 14702-1: *Charakterisierung von Schlämmen – Absetzeigenschaften – Teil 1: Bestimmung der Absetzbarkeit (Bestimmung des Schlammvolumens und des Schlammvolumenindex)*. Berlim, DE, 2006.
13. ABNT NBR 7229. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, BR, 1993.
14. ATV-DVWK-A 116 part 1. A set of rules and standards. Part 1: Vacuum Drainage outside of buildings. 2004.
15. WIESMANN, U.; CHOI, I. S.; DOMBROSKI, E.M. *Fundamentals of Biological Wastewater Treatment*. Weinheim, DE: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2007.
16. JORDAO, E. P.; PESSOA, C. A. Tratamento de Esgotos Sanitários. 4th edição. Belo Horizonte, BR: Segrac Editora, 2005.



17. VAN HAANDEL, A.C.; VAN DER LUBBE, J.G.M. *Handbook of Biological Wastewater Treatment – Design and Optimisation of Activated Sludge Systems. 2nd Edition*. Londres, GBR: IWA Publishing, 2012.
18. DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK. *Zulassungsgrundsätze Kleinkläranlagen*. 2014.
19. DECRETO Nº 7.217/2010. "Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências.". Distrito Federal.
20. ABNT NBR 13969. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, BR, 1993.
21. CONAMA 430/2011. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. 2011.
22. ABEGGLEN, C.; OSPELT, M.; SIEGRIST, H. *Biological nutrient removal in a small-scale MBR treating household wastewater. Water Research*. N. 42 (1-2), p. 338-342, 2007.
23. PORTO, R. La L. Hidrologia ambiental. São Paulo, BR: Edusp, 1991.
24. VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 4 Lodos Ativados. 3ª edição. Belo Horizonte, BR: DESA-UFMG, 2012.