

II-268 - FILTRO BIOLÓGICO PERCOLADOR COMO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES ANAERÓBIOS: UMA REFLEXÃO

Michel Marques Monteiro⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (PPGERHA/UFPR).

Patrícia Beatriz Baréa⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Paraná. Mestranda no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (PPGERHA/UFPR).

Selma Aparecida Cubas⁽¹⁾

Doutora em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (USP) e Professora do Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS) da UFPR e do PPGERHA/UFPR.

Miguel Mansur Aisse⁽¹⁾

Doutor em Engenharia Civil pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo (USP) e Professor Permanente do PPGERHA/UFPR.

Endereço⁽¹⁾: PPGERHA – UFPR. Centro Politécnico – Bloco V – Primeiro andar – Jd. das Américas – Curitiba – Paraná – CEP: 81.531.990 – Tel: +55 (41) 3361-3144 – E-mail: michelmmonteiro@gmail.com

RESUMO

Os reatores tipo UASB são amplamente utilizados para tratamento de esgotos sanitários, especialmente no Brasil, em grande parte devido a sua simplicidade operacional e baixos custos de operação. No entanto, suas limitações fazem com que seja necessário pós-tratamento para atender aos parâmetros de lançamento impostos pela legislação. Várias são as possibilidades de pós-tratamento que podem ser adotadas para a melhoria da qualidade do efluente, entre as quais podem ser citadas lagoas de polimento, os filtros biológicos percoladores, os sistemas de lodos ativados, os filtros anaeróbios e a flotação por ar dissolvido. Este trabalho possui como objetivo geral a realização de uma reflexão sobre o uso do filtro biológico percolador como pós-tratamento de reatores tipo UASB, para tal foram definidos como objetivos específicos: (a) a realização de um diagnóstico do pós-tratamento de reatores UASB no Paraná; (b) a avaliação da aceitação do FBP entre profissionais da área de tratamento de esgotos sanitários; e (c) o levantamento de discussões recentes sobre pós-tratamento de reatores UASB na literatura especializada. Para concretizar esses objetivos inicialmente foi utilizado o Atlas Esgotos da Agência Nacional de Águas na identificação dos processos de tratamento utilizados nos municípios atendidos pela companhia de saneamento do Paraná. Dentre as que usam reatores UASB (ou RALF) foram identificadas as que realizam pós-tratamento. Também foi enviado questionário semiestruturado para diversos profissionais da área de saneamento, mais especificamente profissionais que trabalhem com o tratamento de efluentes, com o intuito de ver qual a aceitação do filtro biológico percolador, seja na consultoria, na empresa de saneamento ou na academia. Por fim, foram realizadas pesquisas sobre esse tema em publicações técnico científicas da área. Após a realização do diagnóstico do pós-tratamento de efluentes do reator UASB verificou-se que a aplicação do filtro biológico percolador não é predominante no Paraná, divergindo bastante do cenário nacional. É grande a possibilidade de alteração dessa situação, já que há uma tendência de crescimento na utilização de tecnologias que englobem remoção de matéria orgânica e de nutrientes. Com relação aos questionários aplicados, a maioria dos profissionais pode considerar a adoção do filtro biológico percolador, porém alguns preferem uma solução com maior resistência a variações bruscas no sistema, como os lodos ativados. Por fim, com a pesquisa na literatura especializada ficou evidente a necessidade de mais estudos na área de pós-tratamento de reatores UASB, principalmente os que utilizem o filtro biológico percolador como parte do processo.

PALAVRAS-CHAVE: Filtro Biológico Percolador, Lodos Ativados, Reator UASB, Tratamento de Esgotos Sanitários.

INTRODUÇÃO

Os reatores anaeróbios do tipo UASB vêm sendo cada vez mais aplicados nas Estações de tratamento de esgotos (ETE) devido a sua simplicidade operacional e baixos custos envolvidos. Esses reatores se tornaram populares em países tropicais, como Colômbia, Índia, México e Brasil (JORDÃO; PESSÔA, 2017). Segundo Foresti (2002) a popularização dos reatores UASB resultou em avanços na área do tratamento anaeróbio.

Mesmo os reatores UASB apresentando diversas vantagens operacionais e também relativas a custos é importante ressaltar que os tratamentos anaeróbios possuem limitações intrínsecas que fazem com que seja necessária uma complementação ao tratamento para o atendimento dos parâmetros de lançamentos (VICTORIA, 2006).

São muitas as possibilidades de pós-tratamento de efluentes de reatores UASB, podendo ser introduzido ao sistema outro tratamento anaeróbio ou ser acrescentado um processo de tratamento aeróbio. Segundo Foresti (2002), a escolha do pós-tratamento deve ser realizada de acordo com o nível de tratamento que se pretende alcançar, como, por exemplo, à remoção de nutrientes ou desinfecção, além da remoção de outros poluentes específicos.

Estudos coordenados pelo Programa de pesquisas em saneamento básico (PROSAB) em seu segundo edital, levou esse tema para discussão. Foram realizadas pesquisas em todo o Brasil culminando na publicação de um livro, onde vários processos de pós-tratamento foram avaliados, como, por exemplo, as lagoas de polimento, os filtros biológicos percoladores (FBP), o sistema de lodos ativados (LA), o filtro anaeróbio (FAn) e a flotação.

O processo de tratamento das lagoas de polimento é similar ao processo de tratamento das lagoas de estabilização, porém com a carga orgânica afluyente reduzida, o que conduz a um tempo de detenção hidráulico (TDH) inferior ao das lagoas de estabilização. A carga orgânica reduzida é decorrência da redução já ocorrida no reator UASB, sendo assim, a taxa de acumulação de lodo no fundo em lagoas de polimento utilizada como pós-tratamento de UASB é baixa e se caracteriza com uma vantagem da sua utilização (CAVALCANTI et al., 2001).

Outra vantagem da utilização das lagoas de polimento é a possibilidade do sistema estar localizado próximo a centros urbanos, já que este não apresenta problemas com odores, assim como a possibilidade da remoção de organismos patogênicos do efluente. A principal desvantagem das lagoas de polimento é a necessidade de uma grande área para a sua construção, mesmo com a utilização de um TDH reduzido, quando comparado às lagoas de estabilização (CAVALCANTI et al., 2001).

Cavalcanti et al. (2001) operaram um sistema composto por UASB seguido por uma lagoa de polimento, com fluxo contínuo e diversas profundidades (0,65 m, 1,65 m, 2,00m e 3,00 m), com TDH de 20 dias, no âmbito das pesquisas realizadas pelo PROSAB. As eficiências alcançadas pelo sistema, em termos de DBO, DQO e sólidos suspensos totais (SST), sempre maiores que 75%, 75% e 80%, respectivamente.

Os FAn têm uma vasta aplicação no tratamento de esgotos, porém, sua utilização é mais adequada como pós-tratamento, proporcionando grande estabilidade operacional, efluente bem clarificado e com baixa concentração de matéria orgânica (GONÇALVES et al., 2001). Segundo Bidone (2007), os FAn vem sendo utilizados para o tratamento de efluentes desde a década de 1950, porém sua popularização no Brasil se deu em 1992 com a publicação da NBR 7229/1993, que define pós-tratamentos para os efluentes de fossas sépticas.

Os FAn são reatores com fluxo ascendente ou descendente que percola por meio do lodo ativo presente na biomassa aderida no meio suporte, sendo a biomassa composta por microrganismos que são os responsáveis pela degradação do esgoto. Esses filtros conferem boa estabilidade para os efluentes, com pouco desprendimento de biomassa, além disso, possuem construção e operação simplificada (GONÇALVES et al., 2001).

Busato (2004) avaliou, em escala real, um sistema de tratamento composto por UASB seguido por FAn chegando em resultados satisfatórios para remoção de matéria orgânica, com percentuais de remoção do sistema de 77% para DBO e 72% para DQO. Além disso o sistema UASB+FAn alcançou uma eficiência

média de remoção de SST e sólidos suspensos voláteis (SSV) de 70% e 71%, respectivamente. Como desvantagem do sistema pode ser citada a não alternância no tipo de tratamento, sendo o sistema composto por duas tecnologias anaeróbias, fator esse que fica evidenciado com a não remoção de nitrogênio amoniacal, sendo a concentração desse composto praticamente constante, antes e depois do FAn.

Os FBP representam um processo de tratamento aeróbio no qual a aeração ocorre devido à ventilação natural. Além disso, o processo funciona com biomassa fixa, ou seja, a biomassa fica aderida no meio suporte (ZHANG et al., 2016). Dessa forma os FBP podem ser definidos como um tanque preenchido com material inerte, de grande granulometria, sobre o qual o efluente é aplicado de forma uniforme, e que percola em direção ao fundo do filtro, em direção ao sistema de drenagem. A percolação do efluente permite que o biofilme cresça na superfície do material filtrante segundo os processos de crescimento bacterianos (GONÇALVES et al., 2001; VICTORIA, 2006).

Segundo Santos (2005) os primeiros FBP surgiram na Inglaterra no final do século XIX, chegando ao Brasil apenas por volta de 1910 com a construção da ETE Paquetá, no Rio de Janeiro. Surgiram como uma tecnologia que mantinha o efluente em um tanque em contato com areia e pedregulhos, apresentando limitações devido a rápida colmatação (JORDÃO; PESSÓA, 2017). A tecnologia de tratamento utilizando FBP foi aprimorada com o tempo passando a utilizar materiais com maior granulometria, como pedra britada e escória de alto forno, sendo comum atualmente a utilização de meios suportes plásticos estruturados, que possuem elevado índice de vazios e área superficial (SANTOS, 2005).

Apresentam-se como uma tecnologia com custos reduzidos, flexível e com pouca necessidade de área, dependendo da área superficial do meio suporte empregado, além disso, os FBP possuem operação e instalação simplificadas (SANTOS, 2005; MATTHEWS et al., 2009; ABOU-ELELA et al., 2015).

Ribeiro (2015) avaliou um sistema, em escala de demonstração, composto por reator UASB seguido por FBP sem etapa de decantação secundária. O sistema tinha capacidade de atender uma população de até 220 pessoas. O TDH aplicado no UASB foi de 8,6 horas e no FBP o TDH foi de 3 horas. A eficiência na remoção de DBO foi de 89%, na remoção de DQO foi de 84%. Além disso a remoção alcançada de SST foi de 88% e a remoção de nitrogênio amoniacal foi de 44%.

Almeida et al. (2011) avaliaram um sistema composto por reator UASB seguido por um FBP, este dividido em quatro compartimentos com meios suporte diferentes. O sistema avaliado operou em escala de demonstração com capacidade de atender uma população de aproximadamente 500 pessoas. Os meios suportes utilizados foram escória de alto forno, *downflow hanging sponge*, anéis plásticos e aparas de conduíte corrugado. Foram obtidas eficiências superiores a 80% na remoção de DBO e DQO para todos os recheios utilizados, além disso a eficiência na remoção de SST foi superior a 70% para todos os meios suportes avaliados.

O sistema de lodos ativados geralmente aplicado no pós-tratamento de reator UASB poderá ser do tipo convencional, com idade de lodo variando entre 6 e 10 dias. Nesse sistema o lodo excedente do tanque de aeração é enviado ao reator UASB, sem que isso prejudique o tratamento, pois o excedente é consideravelmente baixo (VON SPERLING et al., 2001).

A redução da matéria orgânica no reator UASB, que pode chegar a até 70%, faz com que o sistema de LA utilizado na sequência possua dimensões reduzidas, quando comparada à concepção normal, além de apresentar redução no volume de lodo produzido, redução na quantidade de produtos químicos utilizados na desidratação do lodo e redução no consumo de energia. A eficiência alcançada pelo sistema UASB seguido de LA é similar a da concepção tradicional de lodos ativados, tendo como desvantagem a diminuição da capacidade de remoção de nutrientes (VON SPERLING et al., 2001).

Aisse et al. (2002) avaliaram um sistema composto de um reator UASB seguido por LA de alta taxa em duas fases distintas. Na primeira o TDH do LA foi de 3 horas e na segunda fase o TDH foi de 4 horas. Além disso na primeira fase a relação Alimento/Microrganismo (A/M) foi de 6,4 kg.kgSSV⁻¹ e na segunda fase de 4,0 kg.kgSSV⁻¹. Os resultados obtidos foram de 88% de remoção de DQO e 89% de remoção de SST na primeira fase e 75% de remoção de DQO e 77% de remoção de SST na segunda fase.

A flotação utilizada como pós-tratamento de reatores UASB, remove sólidos em suspensão e, quando em combinação com agentes coagulantes, pode ser utilizado na remoção do fósforo, e parcela da matéria orgânica

dissolvida. Vale ressaltar que a flotação ainda reduz os teores de gases odoríferos e produz um efluente com elevado teor de oxigênio dissolvido. O método de flotação mais aplicado para o tratamento de efluentes é o de flotação por ar dissolvido (FAD), podendo essa ser realizada com pressurização total, parcial ou com recirculação pressurizada (AISSE et al., 2001).

Aisse et al. (2002) monitoraram uma ETE, em escala real, que opera um sistema composto por um reator RALF seguido por FAD. O coagulante utilizado no sistema foi o cloreto férrico na dosagem de 65 mg.L⁻¹ e o flotador com uma taxa de escoamento superficial de 180 m³.m⁻².d⁻¹. As eficiências observadas foram de 87% para DBO, 91% para DQO e 83% para SST.

OBJETIVOS

O objetivo geral do trabalho foi realizar uma reflexão sobre o emprego do Filtro biológico percolador como pós-tratamento de efluentes anaeróbios provenientes de reatores UASB. Como objetivos específicos: (a) realizar um diagnóstico do pós-tratamento de reatores UASB no Paraná; (b) avaliar a aceitação do FBP com profissionais da área de tratamento de esgotos sanitários; (c) levantar discussões recentes acerca do pós-tratamento de reatores UASB na literatura especializada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O diagnóstico da situação do pós-tratamento no Paraná foi realizado com base nos dados de 2013, presentes no Atlas Esgotos da Agência Nacional de Águas (ANA, 2017) nas quais foi analisado o tratamento presente em cada uma das cidades paranaenses atendidas pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR), dando-se ênfase nas localidades onde o tratamento é realizado por reatores UASB (ou RALF). Com base nesses dados foram analisados quais dos sistemas realizavam pós-tratamento no efluente do UASB e quais tratamentos adotados.

Para avaliar a aceitação do FBP pelos profissionais da área foi empregado um questionário semiestruturado, devido a sua possibilidade de atingir os mais diferentes perfis profissionais. Essa escolha baseou-se no fato da facilidade de aplicação, processo e análise, além da facilidade e rapidez para obtenção da resposta. O questionário foi elaborado com quatro questões no total: três de múltipla escolha com espaço para comentários e uma questão aberta. As perguntas versaram sobre as características mais importantes na escolha de pós-tratamento de reator UASB, a escolha de uma ou mais tecnologias entre algumas citadas e o que torna atrativa essa escolha.

Na elaboração do questionário foram propostas questões que pudessem avaliar a aceitação dos FBP nos mais diferentes segmentos profissionais. Para isso, as questões iniciais apresentaram alternativas, sem direcionar a resposta dos profissionais. Ao final, caso não tivesse sido escolhida a tecnologia dos FBP, havia uma questão aberta sobre a opinião com relação a essa solução. Os questionários foram enviados por meio eletrônico para profissionais de três segmentos da área de tratamento de esgotos, consultoria, empresa de saneamento e academia, em outubro de 2018 e março de 2019.

O levantamento de discussões recentes sobre pós-tratamento de reatores UASB foi realizada com a pesquisa em publicações técnica científicas especializadas. As publicações analisadas serão escolhidas dentro dos anais dos principais congressos da área realizados no Brasil (Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental e Simpósios Ítalo e Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental) dentro do escopo presente nos anais disponíveis na página da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), além da pesquisa das edições dos últimos três anos da Revista Engenharia Sanitária e Ambiental da ABES.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Diagnóstico do pós-tratamento de reatores UASB no Paraná

Por meio do levantamento realizado no Atlas Esgoto da ANA, com os dados de 2013, foi observado à presença de 212 Estações de tratamento de esgotos (ETE) que utilizam reatores UASB no Paraná, sendo que

dessas ETEs 61 não realizam nenhum tipo de pós-tratamento no efluente do UASB. Ainda segundo esse levantamento o sistema de pós-tratamento mais utilizado no Paraná é o sistema de Lagoas de Polimento, seguido pelos Filtros Anaeróbios (FAn), Filtro Biológico Percolador (FBP) e tratamento Físico-Químico (FQ).

Quando comparado com os dados apresentados por Chernicharo et al. (2018) é possível observar uma divergência do observado no Paraná com o observado no Brasil (o levantamento dos autores foi realizado nos estados do São Paulo, Minas Gerais, Rio de Janeiro, Santa Catarina, Paraná, Mato Grosso do Sul e no Distrito Federal). No levantamento de Chernicharo et al. (2018) o pós-tratamento mais utilizado é o FBP, seguido pelo FAn, Lagoas de polimento e LA. A quantidade de FBP nesse levantamento se deve, principalmente, a sua grande utilização nos estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, já a grande presença de LA reflete a sua grande aplicação no estado de São Paulo. A Figura 1 apresenta um resumo dos principais sistemas de tratamento aplicados no pós-tratamento de reatores UASB no Brasil e no Paraná.

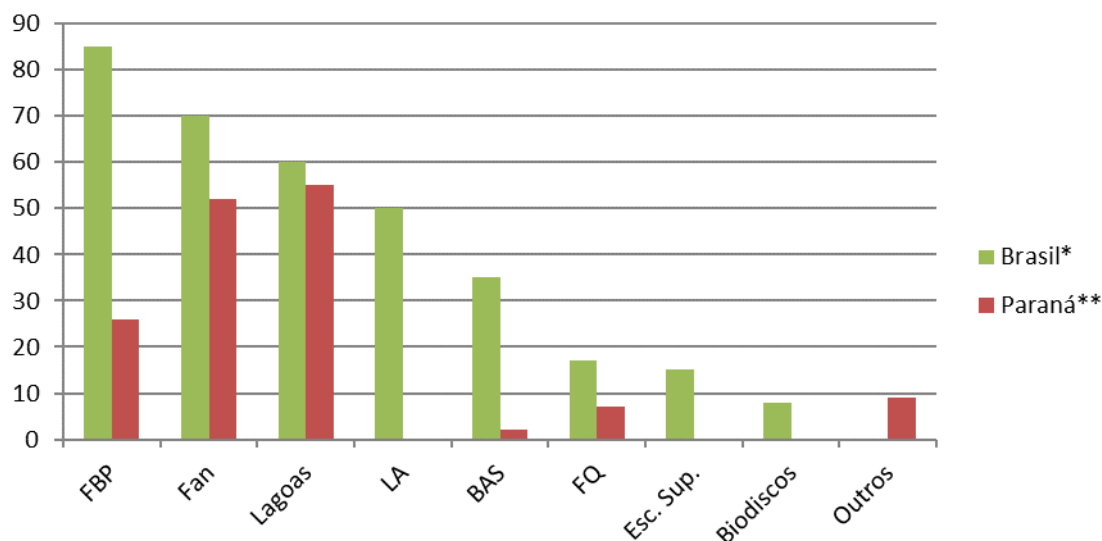


Figura 1: Tecnologias de pós-tratamento mais aplicadas no Brasil* e no Paraná**

*SP, MG, RJ, SC, PR, MS e DF; **Estações atendidas pela SANEPAR; FBP: Filtro biológico percolador; FAn: Filtro anaeróbio; LA: Lodos ativados; BAS: Biofiltro aerado submerso; FQ: Físico-químico.

É possível observar ainda que o estado do Paraná é o responsável pela maior parcela das Lagoas e FAn utilizados como pós-tratamento no país, reflexo desse da busca por tecnologias de tratamento com baixo custo e baixa complexidade operacional devido, entre outros, a realidade econômica nacional. Essa tendência é diferente do observado no estado de São Paulo, onde grande parcela das ETEs que fazem o tratamento com reatores UASB complementam o tratamento com LA, um processo com alto custo de operação.

Assim como no Paraná, os estados de Minas Gerais e Mato do Grosso do Sul, apresentam a maior parte das ETEs equipadas com reatores UASB, segundo os dados apresentados por Chernicharo et al. (2018), porém, diferentemente do Paraná, esses estados utilizam FBP como pós-tratamento, representando 65% (MG) e 20% (MS) dos FBP utilizados como pós-tratamento no Brasil. A utilização do FBP pode representar uma vantagem, quando comparados com FAn e Lagoas, por ser um tratamento aeróbio, o que pode suprir algumas das limitações dos tratamentos anaeróbios.

Além disso é possível observar uma tendência global de utilização de FBP, assim como indicado por Borba (2017), que em sua pesquisa comparou estações que utilizam FBP no Paraná e na Alemanha, sendo o FBP uma tecnologia já difundida nesse país, apresentando resultados muito satisfatórios na remoção de matéria orgânica e de nutrientes. Outro indicativo da mudança na concepção de sistemas de pós-tratamentos no Paraná pode ficar evidenciado com o Plano Diretor de Saneamento Básico de Curitiba, que indica a utilização de pós-tratamento para reatores UASB com sistemas de LA.

Avaliação da aceitação do FBP entre profissionais

A primeira pergunta do questionário abordou sobre os aspectos mais importantes levados em consideração na escolha de um processo de pós-tratamento para reator UASB, podendo ser assinalada mais de alternativa dentre os itens indicados.

Segundo os profissionais entrevistados o aspecto mais relevante na escolha de um sistema de pós-tratamento diz respeito ao custo operacional com 31% das respostas, seguido por utilização de uma tecnologia consolidada e aceita juntamente com aspectos referentes a eficiência na remoção de matéria orgânica, com 25% cada.

Os custos de implantação e construção foram indicados por 13% dos entrevistados e o consumo de energia elétrica por 6% das respostas. Nenhum dos entrevistados indicou a disponibilidade de área como relevante na escolha de um pós-tratamento para reator UASB. A Figura 2 sintetiza as respostas dadas para a primeira questão.

Características para escolha de pós-tratamento de reator UASB

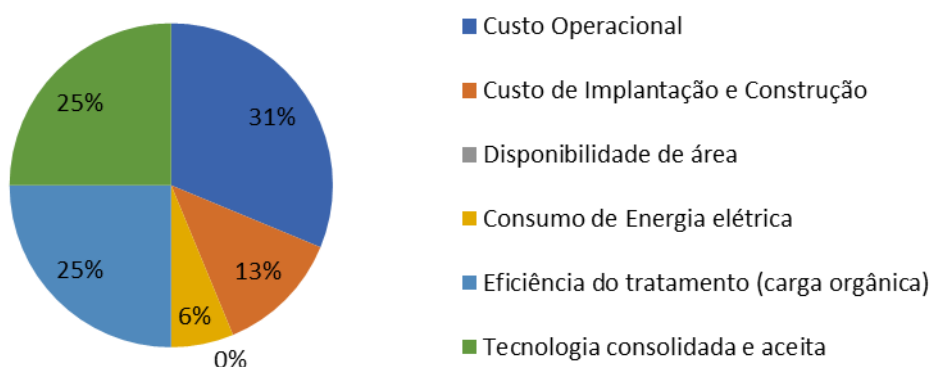


Figura 2: Características para escolha de pós-tratamento de reator UASB: Resultados da consulta

No espaço reservado a comentários da primeira questão um dos entrevistados mencionou que o custo de energia elétrica se tornou fator preponderante no cenário nacional e que deve ser priorizada a tecnologia que apresentar menor custo total, considerando o período de 20 anos de operação. Outra justificativa utilizada foi que a resposta depende da análise de cada caso, porém o aspecto financeiro influencia muito na escolha.

A segunda questão possuía uma abordagem mais direta e pedia para que o profissional escolhesse um sistema de pós-tratamento, para reator UASB, dentre algumas alternativas listadas, sendo admitida mais de uma resposta.

Foram escolhidas apenas duas tecnologias de tratamento dentre as listadas na questão, Lodos ativados, com 55% da preferência e Filtro biológico percolador, com 45% das escolhas, confirmando a atual preferência por sistemas de tratamento aeróbios utilizados no pós-tratamento de UASB. As demais alternativas de sistemas apresentadas na questão não foram indicadas, sendo elas Lagoa de estabilização, Filtro anaeróbio e Flotação. As respostas apresentadas para a segunda questão podem ser observadas na Figura 3.

No espaço aberto para comentários da segunda questão foram levantados diversos aspectos, como a afirmação de que a escolha de um pós-tratamento depende do corpo receptor. Um dos entrevistados diz que em casos onde os padrões de lançamento não sejam muito restritivos a utilização de FBP é interessante. Além disso, questões como a área necessária para a implantação e a necessidade de remoção de nutrientes, como nitrogênio e fósforo, influenciaram na escolha dos sistemas. Também foi mencionado que o FBP tem uma variação na escolha do recheio e que o material plástico tem apresentado boas taxas de remoção de carga orgânica.

Ainda sobre a remoção de nutrientes, outro comentário realizado, na segunda questão, foi de que um FBP bem projetado e que utilize bons equipamentos tem os menores custos totais, além de gerarem um efluente com boa

qualidade, alcançado, inclusive, a nitrificação. Quanto à remoção de fósforo foi citado que esta pode ser alcançada com a anexação de um sistema de tratamento físico-químico.

Pós-tratamento de reator UASB

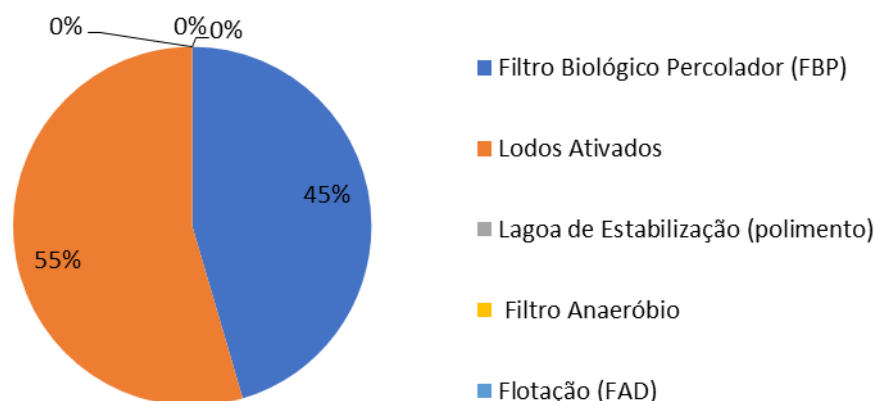


Figura 3: Pós-tratamento de reator UASB: Resultados da consulta

A terceira questão solicitava aos profissionais entrevistados que elegessem, dentre as alternativas propostas, quais tornavam o pós-tratamento de reator UASB escolhido uma solução atrativa. A possibilidade de se atingir os padrões de lançamento impostos pela legislação brasileira foi a escolha mais indicada, representando 33% das respostas. Já a possibilidade de remoção de fósforo e de atender a escala de projeto com relação a vazão representaram, cada uma, 17% das respostas.

A possibilidade de nitrificação também foi indicada como uma justificativa para a escolha do sistema de pós-tratamento, representando 16% das respostas. Além disso, 17% citaram outras razões como fatores referentes à confiabilidade do processo e também aspectos relativos a versatilidade da tecnologia. Os resultados obtidos para a terceira questão são indicados na Figura 4.

Justificativa para escolha pós-tratamento de reator UASB

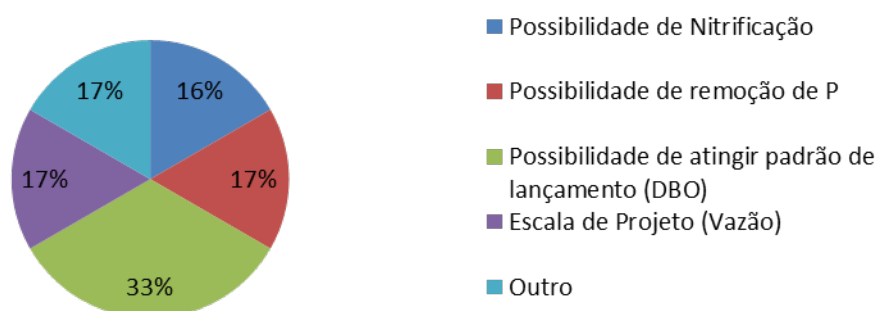


Figura 4: Justificativa para escolha de pós-tratamento de reator UASB: Resultados da consulta

No espaço reservado para comentários adicionais foi citado que tanto a utilização de LA quanto FBP podem ser suficientes para alcançar a remoção de matéria orgânica necessária, para atingir os padrões de lançamento, assim como em ambas as soluções a nitrificação também pode ser realizada. Também foi citado que a remoção de fósforo poderia ocorrer mais facilmente com a utilização de alguns produtos químicos em conjunto com a adoção de um decantador secundário.

A quarta questão pedia aos entrevistados que não escolheram o FBP, na segunda questão, avaliassem essa solução de pós-tratamento de reator UASB. Na Tabela 1 são apresentados os principais comentários citados pelos participantes da entrevista na quarta questão.

Tabela 1: Principais comentários deixados pelos entrevistados na quarta questão

COMENTÁRIOS FAVORÁVEIS	COMENTÁRIOS DESFAVORÁVEIS
FBP é boa opção para localidades com corpos receptores com boa vazão de diluição.	Podem apresentar problemas nos braços rotativos, sejam problemas de desalinhamento, entupimentos dos furos e corrosão.
O FBP é um sistema que funciona.	Deve ser garantida a distribuição igualitária do efluente em toda a superfície do FBP.
É um sistema barato, quando comparado a outros processos de tratamento.	O FBP apresenta possibilidade de atração de vetores.
É um sistema que “cabe no bolso” do Brasil e do Paraná.	No projeto de um FBP deve ser previsto sistema de minimização de odores que por acaso possam aparecer.
A introdução dos recheios plásticos leves e modulares melhorou a aceitação do processo de tratamento com FBP	A aeração é fundamental para FBP, dessa forma as aberturas no sistema devem ser condizentes com a necessidade do sistema.
A utilização de recheios plásticos em FBP diminui a necessidade uma estrutura complexa, além de facilitar a troca do meio suporte, caso seja necessário.	O tratamento por FBP não responde tão bem as variações de vazão das ETes quanto os filtros com aeração forçada.
-	Sistemas com tratamento mais "robusto" são mais garantidos.
-	É necessária a boa operação de um FBP para a consolidação desse processo de tratamento.

Levantamento de discussões recentes sobre pós-tratamento de reatores UASB na literatura especializada

O levantamento realizado na literatura especializada seguiu o seguinte critério de busca: (a) artigos que tratem de assuntos referentes ao tratamento de efluentes em reatores UASB; (b) artigos que tratem de assuntos referentes ao tratamento de efluente com UASB seguidos de algum sistema de pós-tratamento; (c) artigos que se referenciam ao tratamento de efluentes utilizando UASB seguido de FBP; (d) artigos que referentes a FBP, sendo ou não esse utilizado como pós-tratamento.

Além disso o levantamento realizado acerca do pós-tratamento de reatores UASB foi dividido em duas partes. Na primeira etapa foi realizado o levantamento de artigos na Revista Engenharia Sanitária e Ambiental nas edições referentes aos últimos três anos, resultando na busca em 16 edições da revista. A segunda etapa da pesquisa foi realizada no site dos anais da ABES, que lista os trabalhos apresentados nos últimos congressos realizados pela ABES, a partir do 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental (CBESA), realizada no ano de 2011.

Na primeira etapa foram localizados nove artigos sobre tratamento de efluentes em reator UASB, sendo que desses cinco abordavam sobre sistemas compostos por reator UASB seguido de pós-tratamento. Nenhum artigo neste período abordou sobre reator UASB seguido por FBP, assim como também não foram encontrados artigos sobre FBP. Dentre os pós-tratamentos para UASB abordados nos artigos estão o filtro aerado submerso (FAS), sistema de alagados construídos (*Wetland*), processo oxidativo avançado (POA) e lagoa de polimento.

A segunda etapa da pesquisa contou com um volume maior de artigos, sendo assim foram identificados, dentro dos anais das últimas edições de congressos realizados pela ABES, 209 artigos tratando de assuntos referentes ao tratamento de efluentes com reatores UASB, destes 22 artigos fizeram referência a algum tipo de pós-tratamento na sequência dos reatores UASB. Quanto a artigos que discorrem sobre reatores UASB seguidos de FBP, foram localizados oito artigos. Já na pesquisa por tratamento de efluentes com a utilização de FBP foram localizados 22 artigos. A Tabela 2 apresenta um resumo dos dados colhidos no levantamento feito na literatura especializada.

Tabela 2: Resumo do levantamento de artigos feito na literatura especializada

Critério de pesquisa	Revista Engenharia Sanitária e Ambiental⁽¹⁾	Anais dos Congressos da ABES⁽²⁾
Tratamento de efluentes com UASB	9	209
Tratamento de efluentes com UASB + Pós-tratamento	5	22
Tratamento de efluentes com UASB + FBP	0	8
Tratamento de efluentes com FBP	0	15

NOTA: ⁽¹⁾ Revista ESA a partir de 2016; ⁽²⁾ Congressos da ABES a partir de 2011.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Por meio do diagnóstico do pós-tratamento de UASB no Paraná foi possível observar que a aplicação de FBP ainda não é predominante devido à grande quantidade de tratamentos anaeróbios, principalmente FAn e Lagoas. Esse quadro, da utilização de Lagoas e FAn, possivelmente vem a ser alterar, considerando como um indicativo da utilização de outras tecnologias nos demais estados brasileiros, como a utilização de FBP observado em Minas Gerais e Mato Grosso do Sul, e LA no estado de São Paulo, sendo que essas técnicas de tratamento podem englobar a remoção de nutrientes. Além de ser uma tendência mundial, como indicado por Borba (2017).

Por meio das respostas dadas aos questionários foi observado que a maioria dos entrevistados pode considerar a adoção do FBP como pós-tratamento de reator UASB, porém muitos preferem uma solução mais “robusta”, como o sistema de LA, por garantir maior eficiência na remoção de matéria orgânica, já que a utilização de FBP no Brasil, em especial do Paraná, ainda não é muito difundida, o que acarreta uma resistência à adoção dessa alternativa. Assim como dito por um dos profissionais entrevistado seria de fundamental importância, para a desmistificação do FBP, a boa operação de um sistema, transmitindo assim as condições ótimas de operação e de projetos, consolidando o sistema.

A resolução de problemas já relatados em FBP, como os problemas de má distribuição e de desalinhamento dos braços distribuidores, assim como problemas de corrosão e aeração inadequada ajudariam na maior aceitação do sistema. Os problemas relatados referentes à atração de vetores, podem por muitas vezes ser resolvidos com a recirculação do efluente, principalmente em períodos onde a vazão das ETEs é reduzida. Além disso, é importante reforçar que muitos desses problemas ocorrem devido a erros de projeto – muitas vezes na especificação de equipamentos – ou na operação inadequada do filtro. Porém um FBP bem operado representa uma significativa economia principalmente de energia elétrica no horizonte de projeto.

O levantamento de artigos na literatura especializada mostra que apesar de algumas pesquisas terem sido realizadas nos últimos três anos sobre pós-tratamento de reatores UASB, poucas abordaram a utilização de FBP. A busca por resoluções referentes a problemas de corrosão e alinhamento dos braços distribuidores, assim como o melhor entendimento do processo de nitrificação nos FBP podem ser melhor estudados, o que poderia garantir uma maior aceitação e utilização desse sistema, já que, como dito pelos entrevistados, é uma tecnologia que funciona e que “cabe no bolso” do Brasil e do Paraná, se mostrando uma solução interessante para as ETEs que ainda não possuem um processo de pós-tratamento para os reatores UASB já implantados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABOU-ELELA, S. I.; FAWZY, M. E.; EL-GENDY, A. S. Potential of using biological aerated filter as a post treatment for municipal wastewater. *Ecological Engineering*. v.84, p.53-57. 2015.
2. AISSE, M. M.; LOBATO, M. B.; JÜRGESEN, D.; ALÉM SOBRINHO, P. Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios no estado do Paraná (Brasil). In: *Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental*, 28, 2002. Anais... 2002. 8 p.
3. AISSE, M. M.; JÜRGENSEN, D.; REALI, M. A. P.; PENETRA, R. G.; FLORENCIO, L.; ALÉM SOBRINHO, P. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de flotação. In: *CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*. 1 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2001. cap. 6, p. 333-376.
4. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. Atlas Esgotos: Despoluição das bacias hidrográficas, 2017. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/>. Acesso em: 28/09/2018.

5. ALMEIDA, P. G. S.; OLIVEIRA, S. C.; CHERNICHARO, C. A. L. Operação de filtros biológicos percoladores pós-reactores UASB sem etapa de decantação secundária. Eng. Sanit. Ambient.. v.16, n.3, p.271-280. 2011.
6. BORBA, A. L. B. Filtros percoladores para o tratamento de esgoto: Comparação entre métodos de dimensionamento e materiais utilizados como meio suporte e proposição de melhorias e partir de experiências observadas no Brasil e na Alemanha. 361 p. Dissertação de mestrado em ciências ambientais – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
7. BUSATO, R. Desempenho de um filtro anaeróbio ascendente como tratamento de efluente de reator UASB: Estudo de caso da ETE de Imbituva. 237 p. Dissertação de mestrado em Engenharia de recursos hídricos e ambiental – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.
8. CAVALCANTI, P. F. F.; VAN HAANDEL, A.; KATO, M. T.; VON SPERLING, M., LUDEVIC, M. L.; MONTEGGIA, L. O. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por lagoa de polimento. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. 1 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2001. cap. 3, p. 105-170.
9. CHERNICHARO, C. A. L.; RIBEIRO, T. B.; GARCIA, G. B.; LERMONTOV, A.; PLATZER, C. J.; POSSETTI, G. R. C.; ROSSETO, M. A. L. R. Panorama do tratamento de esgoto sanitário nas regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do Brasil: tecnologias mais empregadas. Revista DAE. v. 66, n. 213, p. 5-19. 2018.
10. FORESTI E. Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives. Water Science and Technology. v.45, n.10, p.181-186. 2002.
11. GONÇALVES, R. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; ANDRADE NETO, C. O.; ALÉM SOBRINHO, P.; KATO, M. T.; COSTA, R. H. R.; AISSE, M. M.; ZAIAT, M. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por reatores com biofilme. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. 1 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2001. cap. 4, p. 171-278.
12. JORDÃO, E.P.; PESSÔA, C.A. Tratamento de Esgotos Domésticos. Rio de Janeiro: ABES, 2017.
13. MATTHEWS, R.; WINSON, M.; SCULLION, J. Treating landfill leachate using passive aeration trickling filters; effects of leachate characteristics and temperature on rates and process dynamics. Science of the Total Environment. v.407, p.2557-2564. 2009.
14. RIBEIRO, T. B. Sistema UASB/FBP submetido ao hidrograma típico de vazão: Avaliação do uso de meio suporte baseado em espuma de poliuretano e operação sem decantadores secundários. 173 p. Dissertação (Mestrado em saneamento, meio ambiente e recursos hídricos) – Universidade federal de Minas Gerais, Belo Horizonte. 2015.
15. SANTOS, A. S. P. Avaliação de desempenho de um filtro biológico percolador em diferentes meios suporte plásticos. 91 p. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.
16. VICTORIA, J. A. R. Filtro biológico aeróbio-anóxico para remoção de nitrogênio de efluentes de reatores UASB. 146 p. Tese de doutorado em Engenharia hidráulica e saneamento – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
17. VON SPERLING, M.; VAN HAANDEL, A.; JORDÃO, E. D.; CAMPOS, J. R.; CYBIS, L. F.; AISSE, M. M.; ALÉM SOBRINHO, P. Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistema de lodos ativados. In: CHERNICHARO, C. A. L. (Coord.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. 1 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2001. cap. 5, p. 279-332.
18. ZHANG, X., LI, J.; YU, Y.; WU, Z. Biofilm characteristics in natural ventilation trickling filters (NVTf) for municipal wastewater treatment: Comparison of three kinds of biofilm carriers. Biochemical Engineering Journal. v.106, p.87-96. 2016.