

POTENCIALIDADE DO REATOR BIOLÓGICO DE LEITO MÓVEL: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Amanda Fraga do Amaral*, Doralice Chagas Tavares

*Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ amandafraga.2013@gmail.com.

RESUMO

Este trabalho tem como objetivo geral apresentar, a partir de um referencial teórico, a tecnologia de Reatores Biológicos de Leito Móvel empregado no tratamento de esgotos sanitários, apresentando os principais parâmetros de projeto e as respectivas eficiências, com foco na adaptação de sistemas que operem com a tecnologia de Lodos Ativados, com possíveis sobrecargas. Os resultados encontrados confirmam que a tecnologia de Reatores Biológicos de Leito Móvel é adequada para atualizar as estações de tratamento de águas residuárias de lodos ativados existentes no Brasil, em um espaço limitado e sem precisar da construção de novos tanques. Visto que as plantas em estudo apresentaram bom resultados, uma capacidade significativa tanto para a oxidação da substância orgânica quanto para a remoção do nitrogênio. E caso os limites de emissão se tornarem mais rigorosos para o parâmetro fósforo, tem-se a opção de tratá-lo quimicamente.

PALAVRAS-CHAVE: MBBR, Águas Residuárias, Tratamento Biológico.

INTRODUÇÃO

Dentre os usos múltiplos que a água dispõe, muitos resultam em águas residuárias, seja proveniente de processos industriais, domésticos ou águas de infiltração. De modo geral, pode-se dizer que, não ocorrendo grande contribuição de despejos industriais, os esgotos sanitários constituem-se, aproximadamente, de 99,9% de líquido e 0,1% de sólido, em peso. Sendo os sólidos os responsáveis pela alteração da qualidade dos mananciais receptores dos esgotos (VON SPERLING, 1996).

Desta forma, o efluente precisa ser coletado, tratado e, então, destinado adequadamente, submetendo-se a legislação vigente de referência. No entanto, com o desordenado desenvolvimento urbano, há uma carência na coleta e tratamento dos esgotos nas cidades brasileiras, onde, segundo o Brasil (2017), apenas 42,6% de esgotos produzidos são coletados e tratados, prejudicando utilização dos recursos hídricos. Visto que os 57,4% são constituídos por não coletados e não tratados (38%) e coletados e não tratados (19%). Com isso as águas residuárias acabam sendo destinadas de formas inadequadas, como em sarjetas, redes pluviais, diretamente no solo e em corpos d'água (BRASIL, 2017).

Observa-se que o Brasil enfrenta grandes desafios no setor de saneamento básico, tendo que combater a deficiência existente de tratamento das águas residuárias, no sentido de assegurar o atendimento universal a toda população, com qualidade, segurança sanitária e responsabilidade ambiental, conciliando com futuras pressões, que compreende nas alterações demográficas, investimento no setor, mudança tecnológica, disponibilidade de recursos hídricos, entre outros.

Dentre as tecnologias de tratamento disponíveis atualmente, no país o sistema de lodos ativados convencional atende a maior parcela da população, abrangendo 24% de todos que são atendidos por Estações de Tratamento de Esgotos, sendo cerca de 16,5 milhões de pessoas (BRASIL, 2017).

O processo de lodos ativados convencional consiste na intensa mistura, agitação e aeração do esgoto bruto e do lodo ativado, que é o floco formado no próprio efluente pela floração de microrganismos na presença de oxigênio dissolvido, e posteriormente são separados por sedimentação em decantadores. A maior parte do lodo ativado retorna ao sistema, quanto a menor recebe o destino adequado (PESSÔA E JORDÃO, 2011).

A tecnologia de Reatores Biológicos de Leito Móvel, usualmente conhecida como Moving Bed Biofilm Reactor – MBBR, caracteriza-se na combinação entre sistemas dos tipos biomassa líquida em suspensão e biomassa aderida (biofilme), podendo ser uma variante do processo de lodos ativados (MINEGATTI, 2008). E essa vem se consagrando como uma alternativa no tratamento de efluentes, tanto industriais como sanitários. Atualmente são mais de 400 plantas de grande porte, sendo operadas por processos aeróbicos, anóxicos ou anaeróbicos, espalhadas em 22 países pelo mundo. Além de existir centenas de pequenas unidades de tratamento local, concentradas na Alemanha (RUSTEN *et al.*, 2006).

O processo MBBR consiste na inserção, no interior do reator biológico, meios de suporte de baixa densidade, formados por polietileno, que ficarão em suspensão devido à agitação promovida por sistemas de aeração ou de mistura. Nas peças de polietileno ficará aderido um biofilme, que auxiliará no aumento da concentração de sólidos no tanque, visto

que, os organismos decompositores ficarão tanto em suspensão na massa líquida, como também aderidos ao meio de suporte. Consequentemente aumentará a decomposição da matéria orgânica carbonácea, a conversão de compostos nitrogenados e, dependendo das configurações do reator, na remoção de fósforo, permitindo uma melhor eficiência utilizando um mesmo volume de reator quando comparado a tecnologia de Lodos Ativados. Salienta-se que o lodo ativado não precisa ser retornado ao sistema, como ocorre nas plantas de lodos ativados convencional (MINEGATTI, 2008).

OBJETIVOS

Apresentar, a partir de um referencial teórico, a tecnologia de MBBR empregado no tratamento de esgotos sanitários, apresentando os principais parâmetros de projeto e as respectivas eficiências, com foco na adaptação de sistemas que operem com a tecnologia de Lodos Ativados, com possíveis sobrecargas.

METODOLOGIA

O método aplicado neste estudo investiga trabalhos publicados utilizando MBBR no tratamento de efluentes. Para isto, realizou-se uma seleção de publicações encontradas na base de dados da Capes. Além disso, teses, dissertações, trabalhos de conclusão de curso e livros também foram utilizados para avaliar a eficiência na remoção das concentrações de poluentes e nutrientes obtidas pelos sistemas de MBBR.

RESULTADOS

A fim de identificar e selecionar trabalhos referentes ao tema em questão utilizou-se palavras chaves a cerca da tecnologia, como MBBR, no sistema de busca de periódicos da CAPES. Posteriormente, para refinamento da seleção, adotaram-se critérios que melhor condiziam aos objetivos do estudo. Sendo esses: publicações em forma de artigos que utilizassem a tecnologia de Reatores Biológicos de Leito Móvel no tratamento de esgoto sanitário, que fossem uma adaptação da tecnologia de Lodos Ativados e que constassem os parâmetros de projeto considerados importantes à eficiência do sistema, como as características do meio de suporte.

Por fim, foram selecionados dois artigos produzidos na Itália pela Universidade de Padova, tendo como primeiro autor Luigi Falletti. Trata-se da modernização de estações municipais de tratamento de águas residuárias, que utilizavam tecnologia de lodos ativados, com a tecnologia MBBR. Os trabalhos publicados são do ano de 2007 e 2014, sendo o primeiro realizado na estação de tratamento de águas residuárias de Maserà, e o segundo em Porto Tolle, ambos na Itália.

No que tange o tratamento biológico dos efluentes, as condições climáticas são fatores operacionais que afetam as reações biológicas e os microrganismos que as promovem. A temperatura afeta no consumo da matéria orgânica e a taxa de nitrificação, que normalmente é muito sensível a altas temperaturas, ainda mais em sistemas de biofilme, sendo mais complexos devido aos efeitos difusionais e as limitações na concentração de oxigênio dissolvido (DUARTE, 2015). Desta forma, viu-se a importância de trazer uma experiência brasileira a cerca do estudo, para que pudesse observar os resultados obtidos pelos sistemas operando com as variações sazonais próprias da região. Não só experiências onde houve a modificação de sistemas, que anteriormente operavam na tecnologia de lodos ativados e passaram a operar com a tecnologia MBBR. Com isso selecionou-se uma dissertação de mestrado do ano de 2016, tendo como autor Diego Luiz Fonseca, trazendo uma experiência brasileira a cerca do tema. Trata-se da avaliação de dois sistemas MBBR, desde a origem, o primeiro em escala piloto no Centro Experimental de Saneamento Ambiental (CESA/UFRJ), tratando o esgoto sanitário coletado no bairro da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, e o segundo em escala de bancada, tratando efluente sintético e em condições mais controladas, no Laboratório de Controle da Poluição das Águas (LabPol/UFRJ).

A Tabela 1 apresenta as principais características dos seis sistemas avaliados.

Tabela 1. Principais características dos sistemas.
Fonte: Adaptado de Fonseca (2016), Falletti et al. (2014) e Falletti; Conte (2007).

Planta	I	II	III	IV	V	VI
Estação de Tratamento	Estação de Tratamento de Águas Residuárias de Conselve	Estação de Tratamento de Águas Residuárias de Conselve	Estação Municipal de Tratamento de Águas Residuárias em Maserà	Estação de Tratamento de Águas Residuárias de Porto Tolle	Centro Experimental de Saneamento Ambiental	Laboratório de Controle da Poluição da Águas
Aplicação	Em escala piloto (Fase 01)	Em escala piloto (Fase 02)	Em grande escala	Em grande escala	Em escala piloto	Em escala bancada
Efluente	Municipal	Municipal	Municipal	Municipal	Bairro	Sintético
Tempo de detenção no MBBR (hora)	-	-	5	-	2,2	1,5
Suporte móveis	K2	K2	K1	K3	MOD940	MOD940
Área específica dos suportes (m ² /m ³)	350	350	500	500	687	687
Fração de recheio (%)	60	60	60	50	70	70

O parâmetro utilizado para analisar a eficiência de remoção da matéria orgânica pelo Reator Biológico de Leito Móvel foi o DQO (Demanda Bioquímica de Oxigênio), visto ser um indicador indireto que se baseia na concentração de oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica biodegradável ou não biodegradável, em meio ácido e condições energéticas por um oxidante forte (VALENTE; PADILHA; SILVA, 1997). A menor eficiência, quando comparada às demais, foi de 56 %, enquanto a maior eficiência foi de 89,7%. Sendo as plantas mais ineficientes aquelas que o afluente apresentou diluição devido às infiltrações significativas de águas pluviais e água limpa do rio e por ser um afluente advindo de uma área com baixa atividade doméstica típica, sendo considerados como fraco. Esse esgoto fraco, possivelmente, induziu uma condição de substrato limitante, impedindo alcançar eficiências maiores sem uma variação significativa no tempo de detenção hidráulico (FONSECA, 2016).

De acordo com o estudo feito verificou-se que dentre os parâmetros analisados, a matéria orgânica é a que denota maior grau de importância para este estudo, visto que a Resolução nº430/2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, que determina as condições e padrões de lançamento dos efluentes em corpos de água no Brasil, apenas específica, quando comparado ao nitrogênio e fósforo, a concentração de matéria orgânica que os efluentes oriundos dos sistemas tratamento de esgotos sanitários devem submeter-se. Desta forma, é possível analisar, a partir do parâmetro indireto, o DQO, que os sistemas são efetivos, obtendo boas eficiências de remoção da matéria orgânica. Os compostos nitrogenados foram avaliados a partir dos parâmetros nitrogênio amoniacal (NH₄-N), nitrito (NO₂-N), nitrato (NO₃-N), nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e nitrogênio total (NT).

O nitrogênio amoniacal é o primeiro estágio da decomposição do nitrogênio, segundo Pessoa e Jordão (2011), que inicialmente apresenta-se na forma de nitrogênio orgânico, que pode ser analisado a partir do parâmetro nitrogênio total Kjeldahl, que se trata tanto do nitrogênio orgânico quanto o do amoniacal. E de acordo com os resultados apresentados E de acordo com os resultados apresentados na Tabela 2 e 3 é possível observar que os valores de saída do NH₄-N variaram de <0,5 a 19,32 mg/L, enquanto o NTK, obteve uma eficiência de remoção de 99,2 e 85 % respectivamente.

A Resolução nº430/2011, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA estabelece para nitrogênio amoniacal total o valor máximo de 20,0 mg/L. Acentua-se que esse parâmetro é exigido no caso de lançamento dos efluentes de qualquer fonte poluidora, e não especificadamente de sistemas de tratamento de esgotos sanitários (CONAMA, 2011). Assim sendo, todas as plantas atenderam as exigências, visto que os valores desse parâmetro oscilaram de <0,5 a 19,32 mg/ L.

O nitrato e nitrito são os parâmetros limitantes no processo de remoção do nitrogênio, representando a proteção ambiental (DEZOTTI *et al.*, 2008; BASSIN, 2012). Para esses dois parâmetros as plantas apresentaram uma concentração de saída que varia de <0,1 a 1,33 para NO₂-N e 4,16 a 10,17 para NO₃-N. Enquanto umas das plantas apresentou o valor da concentração de saída de <10, que representa a soma de NO₂-N e NO₃-N, através do NO_x. Atenua-se que o nitrito é muito instável nas águas residuárias sendo facilmente oxidado para a forma de nitrato (PESSÔA E JORDÃO, 2011).

O nitrogênio total inclui o nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato (PESSÔA E JORDÃO, 2011). Em dois sistemas observa-se baixa remoção, não atingindo nem 50 % de eficiência, apenas 42,8 % e 20 %. Já as demais plantas alcançaram uma eficiência de remoção variando de 73,3 a 86,6 %.

Já no que concerne a remoção do nitrogênio, os reatores apresentaram diferenças em detrimento as características de cada sistema, e os efluentes recebidos, mas, em geral, são bons resultados de remoção, apresentando concentrações baixas na efluente tratado.

Tabela 2: Resultados das análises físico químicas das plantas em estudo.

Fonte: Adaptado de Falletti; Conte, 2007; Falletti *et al.* (2014).

Planta	I	II	III	IV	
Estação de tratamento	Estação de Tratamento de Águas Residuárias de Conselve	Estação de Tratamento de Águas Residuárias de Conselve	Estação Municipal de Tratamento de Águas Residuárias em Maserà	Estação de Tratamento de Águas Residuárias de Porto Tolle	
Aplicação	Em escala piloto (Fase 01)	Em escala piloto (Fase 02)	Em grande escala	Em grande escala	
DQO	Afluente (mg/L)	546	548	484	57
	Efluente (mg/L)	120	132	50	25
	Eficiência (%)	78	75,7	89,7	56
NTK	Afluente (mg/L)	-	-	79	13,3
	Efluente (mg/L)	-	-	<1	<4
	Eficiência (%)	-	-	99,2	85
NH ₄ -N	Afluente (mg/L)	40,08	44,28	79	-
	Efluente (mg/L)	17,62	6,22	0,64	<0,5
	Eficiência (%)	56	86	99,2	-
NO ₂ -N	Efluente (mg/L)	1,33	0,51	<0,1	<0,1
NO ₃ -N	Efluente (mg/L)	4,16	5,18	9,9	10,7
NT	Afluente (mg/L)	40,42	44,64	-	13,3
	Efluente (mg/L)	23,14	11,91	-	10,7
	Eficiência (%)	42,8	73,3	86,6	20

Tabela 3: Resultados das análises físico químicas das plantas em estudo.
Fonte: Adaptado de Fonseca (2016).

Planta	V	VI
Estação de tratamento	Centro Experimental de Saneamento Ambiental	Laboratório de Controle da Poluição da Águas
Aplicação	Em escala piloto	Em escala bancada
DQO	Afluente (mg/L)	224
	Efluente (mg/L)	56
	Eficiência (%)	75
NH ₄ -N	Afluente (mg/L)	42
	Efluente (mg/L)	19,32
	Eficiência (%)	54
NO _x	Efluente (mg/L)	<10

Observa-se que o parâmetro fósforo não foi objeto de estudo dessas plantas, porém, quando comparado ao parâmetro nitrogênio, a sua remoção é considerada mais efetiva no quesito de prevenção da eutrofização nos corpos d'água receptores (HENRIQUE *et al.*, 2010).

Desta forma, foi identificado um estudo a cerca dos Reatores Biológicos de Leito Móvel que avaliam a eficiência da remoção do fósforo, porém não há relatos da origem dos sistemas, se são derivados da tecnologia de Lodos Ativados como as plantas anteriores. No entanto, trata-se de uma remoção química, porém eficiente. Realiza a remoção a partir da precipitação de fosfato adicionando sais de dois metais que formam os ortofosfatos pouco solúveis, sendo eles o cálcio e o alumínio. O inconveniente de utilizar esse processo de remoção é o custo dos produtos químicos e a alta produção de lodo (SINGH *et al.*, 2017).

Os autores Singh *et al.* (2017) avaliaram a eficiência de remoção do fósforo em dez plantas, utilizando a tecnologia MBBR, espalhadas por toda Índia e monitoradas por um período de um ano. No qual as concentrações de fósforo apresentaram valores de entrada variando entre 1,4 a 20 mg/L e saída de 0 a 3,0 mg/L, demonstrando uma boa eficiência do sistema na remoção do fósforo, chegando a 100% em duas das 10 plantas.

Ressalta-se que, segundo a Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011, o padrão do fósforo quanto do nitrogênio amoniacal total é exigido no caso de lançamento dos efluentes de qualquer fonte poluidora, e não especificadamente de sistemas de tratamento de esgotos sanitários.

CONCLUSÕES

Esses resultados confirmam que a tecnologia de Reatores Biológicos de Leito Móvel é adequada para atualizar as estações de tratamento de águas residuárias de lodos ativados existentes no Brasil, em um espaço limitado e sem precisar da construção de novos tanques. Visto que as plantas em estudo apresentaram bom resultados, uma capacidade significativa tanto para a oxidação da substância orgânica quanto para a remoção do nitrogênio. E caso os limites de emissão se tornarem mais rigorosos para o parâmetro fósforo, tem-se a opção de tratá-lo quimicamente. No entanto, deve-se considerar que esse tipo de tratamento acarreta em maiores custos financeiros e um aumento na produção do lodo.

A transformação de um tanque de lodo ativado em um MBBR requer poucas semanas de trabalho, pois é necessária apenas a divisão de tanques existentes, instalações de telas e, eventualmente, a substituição do sistema de aeração. Os principais custos de investimento são os meios de suportes (FALLETTI; CONTE, 2007).

Não se obteve estudos de Reatores Biológicos de Leito Móvel operando em grande escala no Brasil, e sistemas que avaliassem a remoção de fósforo através do método biológico. Portanto, faz-se necessário o desenvolvimento de pesquisas e estudos a cerca do processo de tratamento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2. ed. Belo Horizonte: Ufmg, 1996. 243 p.
- BRASIL. Agência Nacional de águas. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental (Org.). **Atlas Esgotos**: Despoluição de Bacias Hidrográficas. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2017. 88 p.
- PESSÓA, Constantino Arruda; JORDÃO, Eduardo Pacheco. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 969 p.
- MINEGATTI, D. V. O. DE., 2008. **Caracterização dos Parâmetros de Controle e Avaliação de Desempenho de um Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR)**. XII, 91p. COPPE/UFRJ, MSc., Engenharia Civil.

5. RUSTEN, Bjorn; EIKEBROKK, Bjørnar; ULGENES, Yngve; LYGREN, Eivind. Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 34, n. 3, p.322-331, maio 2006. Elsevier BV.
6. FALLETTI, Luigi; CONTE, Lino. Upgrading of Activated Sludge Wastewater Treatment Plants with Hybrid Moving-Bed Biofilm Reactors. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, [s.l.], v. 46, n. 21, p.6656-6660, out. 2007. American Chemical Society (ACS).
7. FALLETTI, Luigi; CONTE, Lino; MAESTRI, Andrea. Upgrading of a wastewater treatment plant with a hybrid moving bed biofilm reactor (MBBR). **Aims Environmental Science**, [s.l.], v. 1, n. 2, p.45-52, 2014. American Institute of Mathematical Sciences (AIMS).
8. FONSECA, Diego Luiz. **Desempenho de sistemas MBBR em diferentes condições de recheio e vazão: estudo em escala piloto e laboratorial**. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.
9. VALENTE, José Pedro Serra; PADILHA, Pedro Magalhães; SILVA, Assunta Maria Marques. Oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO) como parâmetros de poluição no ribeirão Lavapés/Botucatu - SP. **Eclética Química**, [s.l.], v. 22, p.49-66, 1997. FapUNIFESP (SciELO).
10. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**. 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).
11. DEZOTTI, Márcia; BASSIN, João Paulo; BILA, Daniele Maia; AZEVEDO, Eduardo Bessa; VALENTIM, Alessandra Cristina Silva. **Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos**. Rio de Janeiro: E-papers, 2008. 360 p.
12. BASSIN, João Paulo. **Remoção Biológica de Nutrientes em Sistemas Compactos e Estudo da Diversidade Microbiana por Técnicas De Biologia Molecular**. 2012. 209 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.
13. HENRIQUE, Israel Nunes; SOUSA, José Tavares de; CEBALLOS, Beatriz Susana Ovruski de; BRASIL, Danielle Patrício. Remoção biológica de fósforo em reatores em bateladas sequenciais com diferentes tempos de retenção de sólidos. **Eng. Sanit. Ambient.**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 197-204, June 2010.
14. SINGH, Anju; KAMBLE, Sheetal Jaisingh; SAWANT, Megha; CHAKRAVARTHY, Yogita; KAZMI, Absar; AYMERICH, Enrique; STARKL, Markus; GHANGREKAR, Makarand; PHILIP, Ligy. Technical, hygiene, economic, and life cycle assessment of full-scale moving bed biofilm reactors for wastewater treatment in India. **Environmental Science And Pollution Research**, [s.l.], v. 25, n. 3, p.2552-2569, 10 nov. 2017. Springer Nature..