

USE OF A FIXED-BED REACTOR WITH BIOBOB® MEDIUM, OPERATING AT PILOT SCALE FOR REMOVAL OF COD AND TOTAL NITROGEN FROM SANITARY SEWAGE

T. M. ASSIS*, F. P. BURGATH, P. A. WOSIAK, E. M. STOLLE, J. V. T. NIZER, G. S.C. CUNHA, G. L. P. QUEIROS, A. C. BARANA

Universidade Estadual de Ponta Grossa
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8795-1823>
tatianemassis@yahoo.com.br*

Submitted October 25, 2023 - Accepted November 29, 2023

DOI: 10.15628/holos.2023.16342

ABSTRACT

This study operated a pilot reactor, installed in a real municipal wastewater treatment plant. The reactor featured a packed fixed bed made of Biobob®, a high-density polyethylene structure with expanded polyurethane, with a total volume of 5.65m³ and an effective volume of 3.20m³, operating under upflow conditions. The reactor objective was the removal of Total Nitrogen through Simultaneous Nitrification and Denitrification, as well as COD removal. The reactor operated with intermittent aeration and HRT of 10, 12,

and 20 hours. The feed consisted of substrates in ratios of 1:1 (v:v) raw sewage/UASB effluent and UASB effluent. The reactor withstood the variations in load at the WWTP, facing common challenges of large-scale systems. The E2 stage - raw sewage:UASB - stood out with an average N removal of 55% and an average COD removal of 81%. SEM images demonstrated synergy between nitrifying bacteria, denitrifying bacteria, and methanogenic archaea.

KEYWORDS: Simultaneous Nitrification and Denitrification, Intermittent Aeration, Removal of Organic Matter.

USO DE REATOR DE LEITO FIXO EM MEIO SUPORTE BIOBOB®, OPERANDO EM ESCALA PILOTO NA REMOÇÃO DE DQO E NITROGÊNIO TOTAL DE ESGOTO SANITÁRIO

RESUMO

Este trabalho operou um reator piloto, instalado em uma estação de tratamento de esgoto sanitário real. O reator contou com leito fixo empacotado de Biobob®, estrutura em polietileno de alta densidade com poliuretano expandido, volume total de 5,65m³ e útil de 3,20m³ e fluxo ascendente. O objetivo do reator foi a remoção de Nitrogênio Total via Nitrificação e Desnitrificação Simultânea e remoção de DQO. O reator operou com aeração intermitente e TDH de 10, 12 e 20h, a

alimentação ocorreu com substratos nas razões 1:1 (v:v) esgoto bruto/efluente de UASB; e efluente do UASB. O reator suportou as variações de carga da ETE, adversidades comuns de sistemas em larga escala. A etapa E2 - alimentação bruto:UASB, se destacou com média de remoção de N de 55% e remoção média de DQO em 81%. As imagens obtidas por MEV demonstraram que houve sinergia entre bactérias nitrificantes, desnitrificantes e arqueas metanogênicas.

Palavras-chave: Nitrificação e Desnitrificação Simultânea, Aeração Intermitente, Remoção de Matéria Orgânica.

1 APRESENTAÇÃO

O novo marco legal do saneamento, Lei Federal N.º 14026/2020, têm como um dos principais focos aprimorar as condições estruturais do saneamento básico para atender toda a população brasileira e manter a qualidade dos mananciais que serão fonte de água limpa que deverá atender aos usos múltiplos necessários à humanidade (TORRES, et al. 2019a). As regras impostas por esse marco já seriam suficientes para incentivar pesquisas em sistemas de tratamento de esgoto sanitário, porém o crescimento populacional e o grande espaço físico ocupado pelas estações de tratamento justificam pesquisas em unidades compactas e que promovam processos simultâneos de remoção de nutrientes e matéria orgânica.

Filtros anaeróbios e Reatores do tipo UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket/Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente) são largamente empregados no tratamento do esgoto sanitário, porém por se tratar de sistema anaeróbio, esse modelo de reator é ineficiente na remoção de nutrientes, como nitrogênio. O nitrogênio em suas diferentes formas tem seu padrão de lançamento em corpos hídricos designado pelas resoluções do CONAMA 357/2005 e 430/2011, o seu lançamento fora dos padrões estabelecidos pode gerar problemas de saúde pública e ambientais, como a metahemoglobinemia e a eutrofização (TORRES, et al. 2019b).

O reator proposto neste trabalho, se trata de um reator compacto de fluxo ascendente, cujo ambiente anóxico, possibilita de forma simultânea, remoção de carbono e nitrogênio, onde o nitrogênio é removido por uma via metabólica denominada Nitrificação e Desnitrificação Simultânea (NDS) (POLAK, 2018).

Para que o processo NDS ocorra são necessários ambientes aeróbios, para a nitrificação, que transforma o nitrogênio amoniacal para nitrito e nitrato, e anóxicos, onde o nitrato é transformado a gás nitrogênio e devolvido ao ambiente (BARANA, et al., 2013; LOPES, et al., 2022). Pensando nesses processos simultâneos, um meio suporte que promova ambientes óxicos e anóxicos, aliado a uma condição de aeração intermitente, pode ajudar a solucionar a problemática apresentada.

Nesse sentido o Biobob[®], meio suporte comercial com estrutura em espuma, tem cumprido o papel de promover ambiente anóxico nas camadas mais internas e óxico nas externas (POLAK, 2018; OLIVEIRA, 2020; STOLLE, 2022).

Diante das justificativas apresentadas este trabalho teve como objetivo avaliar a remoção de nitrogênio e DQO de esgoto bruto e efluente de UASB em um reator em escala piloto de leito empacotado preenchido com Biobob[®], operando com aeração intermitente.

2 METODOLOGIA

O experimento foi realizado sob coordenação da UEPG em parceria com a SANEPAR (Companhia de Saneamento do Paraná), que permitiu a implantação do reator em escala piloto na ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) IAPÓ, localizada na cidade de Castro-PR, e a empresa Bioproj Tecnologia Ambiental, desenvolvedora do meio suporte Biobob[®] usado como forma de imobilização de biomassa no reator.

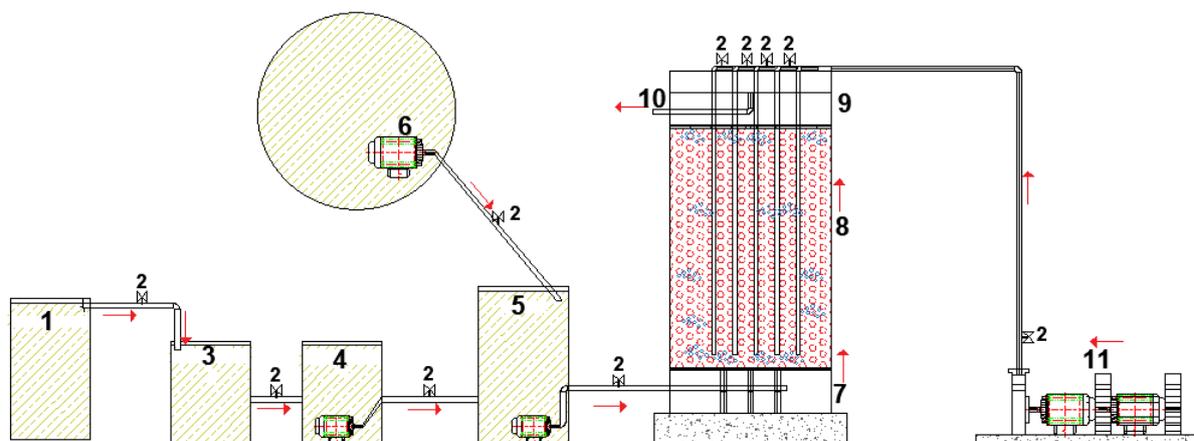
O aparato experimental é composto por dois tanques de sedimentação seguidos por um tanque de equalização e, na sequência, um reator.

Os tanques de decantação estão instalados em sequência. Cada um tem volume de $0,8 \text{ m}^3$ e recebe o esgoto bruto que passou pelas etapas de gradeamento e desarenação. Depois de passar por estes dois tanques o esgoto segue para o tanque pulmão.

O tanque pulmão tem volume de $1,0 \text{ m}^3$ e pode receber efluente do UASB e esgoto bruto proveniente do tanque de decantação. Este tanque tem uma moto bomba submersível de rotor semi aberto Sulzer, modelo Piranha 08/2, com capacidade de vazão de até $7,5 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, responsável pela alimentação do reator.

O reator foi construído em fibra de vidro em formato cilíndrico. Tem volume total de $5,65 \text{ m}^3$ e útil de $3,20 \text{ m}^3$, $1,5 \text{ m}$ de diâmetro e $3,2 \text{ m}$ de altura, dividido em 3 compartimentos (i) leito de mistura, (ii) leito de Biobob® e (iii) saída do efluente. O sistema de aeração do reator é formado por 2 sopradores de ar operando em série, da marca Aeromack, modelo CRE-03, com vazão de ar na faixa de $3,2 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-1}$ e pressão estática de $2,20 \text{ MCA}$. Os sopradores ficam ligados a um temporizador que possibilita a entrada de ar na porção inferior do reator de forma intermitente.

O Biobob® usado como meio suporte para crescimento de biomassa microbiana é formado por uma espuma de poliuretano envolvida em uma estrutura vazada de polietileno de alta densidade, com geometria cilíndrica de 45 mm de diâmetro, 60 mm de altura, 90% de porosidade e massa seca unitária de 12 g .



Legenda: 1 – Calha Parshal (ponto de coleta do afluente bruto); 2 – Válvula de registro tipo globo; 3 – Tanque 1 de desarenação do afluente bruto; 4 – Tanque 2 de desarenação do afluente bruto; 5 – Tanque pulmão (equalização da mistura bruto/UASB); 6 – Reator UASB (ponto de coleta do segundo afluente da mistura); 7 – Leito de mistura (fluxo ascendente); 8 – Leito de espuma de poliuretano estruturado em suporte plástico (Biobob®); 9 – Câmara de saída; 10 – Descarte de efluente; 11 – Ventiladores em série;

Figura 1: Ilustração do aparato experimental do reator piloto de leito fixo empacotado usado no tratamento do esgoto sanitário. Fonte: Adaptado de POLAK, 2018.

A operação do reator, excluindo paradas ocasionadas por adversidades próprias de reatores operados em escala piloto, (oscilações na rede de energia, flutuações de vazão de esgoto na elevatória, entre outras), teve duração de 192 dias. As estratégias de operação foram divididas em 6 etapas e estão resumidas na Tabela 1.

As análises físico-químicas de monitoramento do experimento foram: nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e demanda química de oxigênio (DQO) e seguiram metodologia descrita

em APHA (2017). A biomassa fixada no Biobob® foi avaliada através de imagens de microscopia eletrônica de varredura obtidas por emissão de campo (FEG, Modelo Mira 3, Marca Tescan).

Tabela 1: Condições experimentais utilizadas no presente experimento.

ETAPA	Alimentação	Aeração	TDH	Afluente	Duração (dias)
1 (partida)	Batelada	Contínua	30 dias	100% EU	30
2	Contínua	15 min AER/15 min SEM	20 h	50% EB + 50% EU	15
3	Contínua	15 min AER/15 min SEM	10 h	50% EB + 50% EU	35
4	Contínua	15 min AER/15 min SEM	12 h	100% EU	39
5	Contínua	Sem aeração	12 h	100% EU	46
6	Contínua	45 min AER/15 min SEM	12 h	100% EU	27

*EB: Esgoto Bruto. EU: Efluente de reator UASB. AER: Aerando. SEM: Sem aeração.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 2, apresenta a caracterização do efluente usado na alimentação do reator piloto.

Tabela 2: Caracterização do Afluente bruto e do Efluente do Reator UASB usados no experimento.

Amostra	NTK*	DQO	ST	SV	SF	SST	SSV	SSF
Afluente Bruto	45,9±19	269,7±66	195±70	32±25	163±43	121,6±30	0,010±0,01	121,000±30
Efluente UASB	35,1±12	156,9±91	208±25	90±56	118±82	11,4±15	0,002±0,03	11,380±15

*não existe diferença significativa entre os valores de NTK e N-NH₄⁺.

A Figura 2 apresenta o comportamento temporal do reator em relação as eficiências nas etapas de nitrificação, desnitrificação e remoção de DQO.

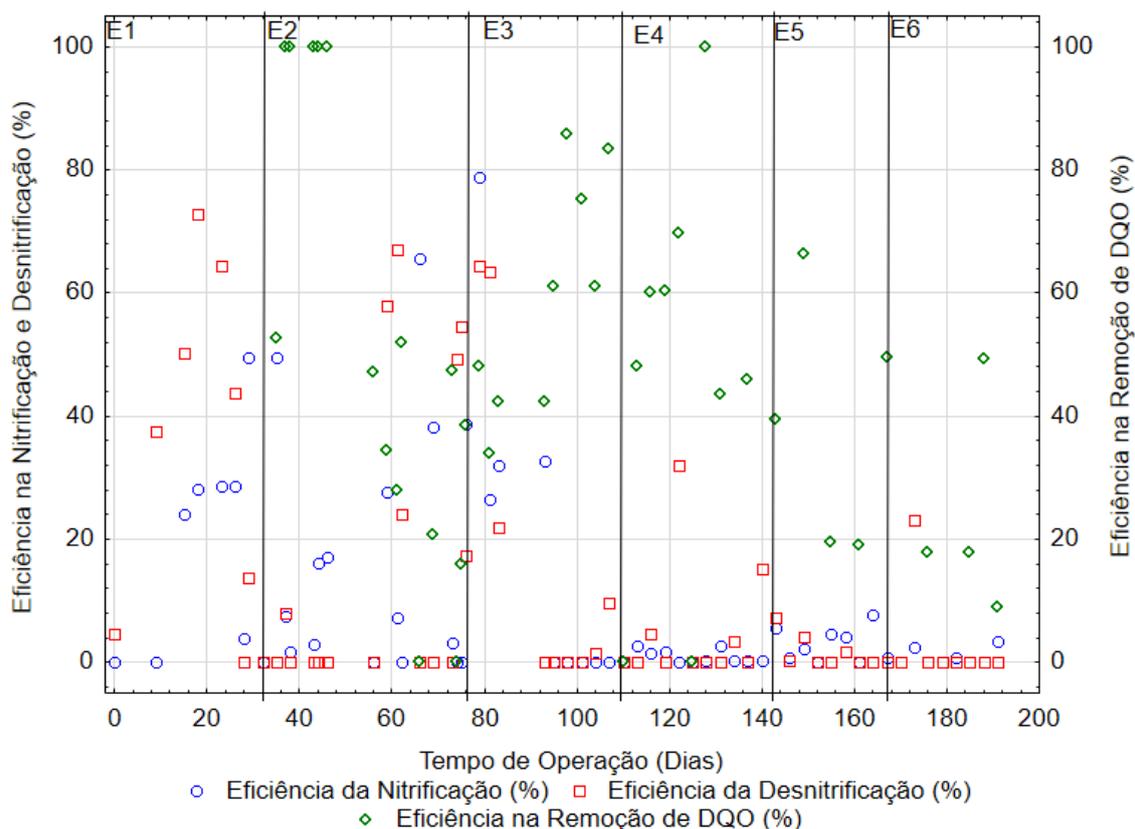


Figura 2: Comportamento da Nitrificação e Desnitrificação Simultânea e Eficiência da Remoção de DQO durante a condução do experimento. Fonte: próprio autor, 2023.

A remoção de nitrogênio, em especial a etapa de nitrificação, apresenta maiores dificuldades de estabilização quando comparado a remoção de DQO, por essa razão a partida dos reatores com as três etapas simultâneas (nitrificação/desnitrificação/remoção de DQO), tem como parâmetro de partida o acúmulo de nitrato, mostrando que a nitrificação está ocorrendo no meio (BARANA et al, 2013). Num período de 30 dias, o reator já apresentava 55% do nitrogênio amoniacal presente no afluente transformado em nitrato, o que equivale a nitrificação. Esse parâmetro permitiu a evolução das condições experimentais para redução do TDH e início da intermitência da aeração.

A etapa 2 corrobora o comentário anterior de que as arqueais metanogênicas juntamente com as bactérias heterotróficas que consomem carbono orgânico, são mais eficazes em seus bioprocessos quando comparadas com microrganismos nitrificantes, mesmo ao ser expostas a 30 dias de oxigênio, uma vez a aeração intermitente iniciada a remoção de DQO atingiu índices superiores a 80% no final desta etapa. Ao término da fase 2, o reator sofreu uma parada de funcionamento que durou 72 dias (a interrupção se deu por instabilidades na rede elétrica que levou a danificar equipamentos que precisaram ser substituídos), logo a etapa 3 demandou nova observação sobre o acúmulo de nitrato, assim como na etapa 1 o reator se mostrou resiliente no processo de nitrificação, pois, nos primeiros 10 dias da etapa 3, a nitrificação já demonstrava acúmulo de nitrato com eficiência de 40%.

Embora o *start-up* do reator tenha se dado de forma rápida na etapa 3, mesmo o processo sendo realizado com aeração intermitente, o sistema NDS não foi estável, demandando uma

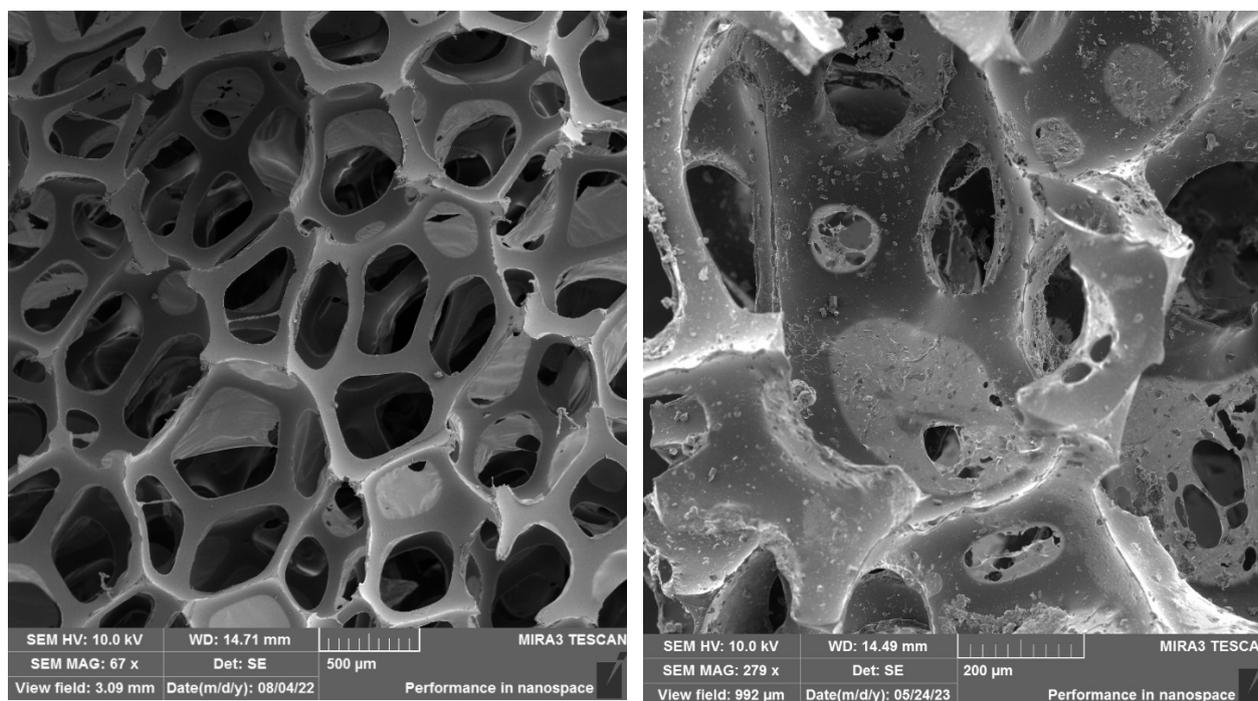
ampliação do TDH de 10 para 12h na etapa 4, e por razões mecânicas da ETE, o reator passou a ser alimentado apenas com efluente do reator UASB. As alterações resultaram em apenas um pico de remoção de nitrogênio NDS que chegou a 35%, porém a remoção de DQO se manteve superior a 40%, com valor máximo de remoção de DQO na fase chegando a 100%.

Sistemas operadores em larga escala, entre eles a escala piloto, estão susceptíveis as problemáticas operacionais do dia a dia, de uma estação de tratamento, portanto, a fase 5 do experimento, por oscilações de energia elétrica que influenciaram na capacidade de operação dos sopradores, foi conduzida em anaerobiose, inviabilizando a remoção de nitrogênio via NDS, porém a remoção de DQO embora com menor eficiência se deu normalmente.

Na etapa 6, as condições experimentais foram re-iniciadas, porém o curto tempo de operação, não possibilitou alcançar índices expressivos de remoção de nitrogênio e DQO, mas essa etapa demonstra que a biomassa fixada na estrutura dos Biobobs ainda estavam ativas demonstrando a resiliência do sistema.

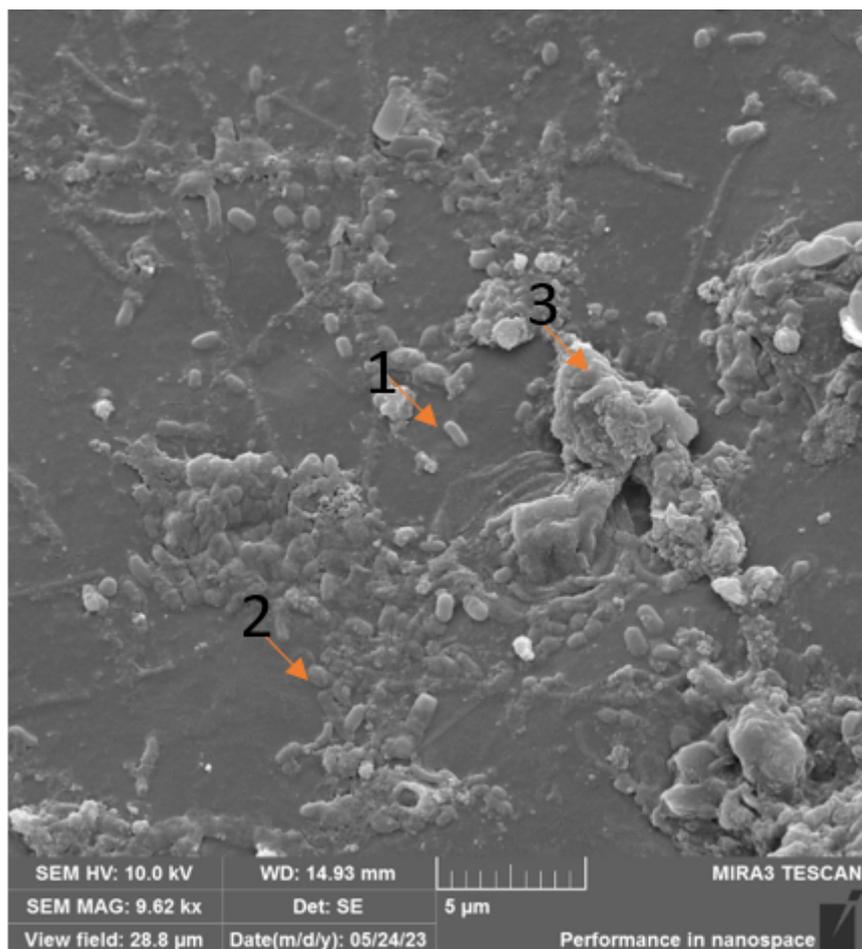
É importante destacar que a ETE onde foi implantada o reator piloto, possui outorga de lançamento de DQO em $225\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, atribuída pela Instituto de Água e Terra do Paraná, pela Portaria 1045/2020, portanto, mesmo com baixas eficiências o reator piloto foi eficiente no atendimento da legislação ambiental vigente.

As imagens da Figura 3 obtidas por microscopia eletrônica de varredura apresentam a estrutura do Biobob sem biomassa antes da inoculação do reator (A), e ao final do experimento (B) e (C).



A. Espuma de poliuretano antes da inoculação do reator.

B. Espuma de poliuretano ao final do experimento.



C. Morfologia das bactérias fixadas no Biobob[®], imagem obtida ao final do experimento.

1: Bacilos curtos; 2: Cocos; 3: Bactérias filamentosas (Arqueas Metanogênicas)

Figura 3: Imagens do meio suporte ao final do experimento obtidas por microscopia eletrônica de varredura (MEV). Fonte: próprio autor, 2023.

A partir da imagem A, foram calculados o diâmetro médio e a dimensão média das paredes entre os poros. Os poros do Biobob[®] sem biomassa tiveram diâmetro médio de 376,07 µm, já os espaços entre os poros tiveram dimensão média de 79,65µm, pela imagem (B) nota-se fixação das bactérias nas estruturas de poliuretano entre os poros, como as bactérias tem dimensão aproximadas de 5 µm (imagem C), a estrutura cumpriu o papel de fixação da biomassa que em conjunto com aeração intermitente, foi importante para manter o ambiente anóxico do reator que influenciou na resiliência observada no mesmo.

As estruturas celulares observadas na imagem C são compatíveis com cocos e bacilos curtos e alongados, mesmas estruturas morfológicas identificadas por Azevedo et al. (2021) e Oliveira et al. (2011) ao analisar lodo nitrificante e desnitrificante, e nota-se na imagem a presença de bactérias filamentosas que é a estrutura morfológica típica de arqueas metanogênicas segundo Oliveira et al. (2009). As observações dos autores citados reforçam que o Biobob foi capaz de prover um ambiente anóxico, ideal para que a via NDS de remoção de nitrogênio e a remoção de DQO, acontecerem de forma simultânea.

4 CONCLUSÕES

Como conclusões de maior importância pode-se destacar que o reator foi eficiente no atendimento aos padrões de lançamento de DQO para a ETE onde ele está inserido. O processo de remoção de nitrogênio via NDS foi obtido no reator e a sinergia entre bactérias nitrificantes e desnitrificantes foi visualizada no meio suporte usado no reator.

O reator de leixo fixo empacotado, usando Biobob[®] como meio suporte, se mostrou resiliente nas adversidades habituais que podem ocorrer em escala piloto, demonstrando sua viabilidade de sua utilização.

5 AGRADECIMENTOS

Os Autores gostariam de agradecer a Empresa Bioproj pela parceria durante a pesquisa, e da mesma forma à Fundação Araucária e Sanepar (Companhia Paranaense de Saneamento) pelas bolsas e recursos de fomento à pesquisa recebidos na Chamada Pública 17/2021 do Programa PPPSA.

6 REFERENCIAS

APHA, AWWA e WEF – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION (2017). Standard methods: for the examination of water and wastewater. 23.ed. Washington: American Public Health Association.

AZEVEDO, C.S. et al. (2022). Aeration and non-aeration cycles (AE/NA) time: influence in combined organic matter and nitrogen removal and features of biofilm. *Environmental Technology*, 43:16, 2443-2456. <https://doi.org/10.1080/09593330.2021.1882583>

BARANA, A. C. et al. (2013) Nitrogen and organic matter removal in an intermittently aerated fixed-bed reactor for post-treatment of anaerobic effluent from a slaughterhouse wastewater treatment plant. *J. Environ. Chem. Eng.*, v.1, p.453-457. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.06.015>

BRASIL (2020). Lei nº 14026/2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico.

CONAMA (2005) Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CONAMA (2011) Conselho Nacional do Meio Ambiente. 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).

LOPES, C. L. et al. (2022) Nitrogen removal from poultry slaughterhouse wastewater in anaerobic-anoxic-aerobic combined reactor: Integrated effect of recirculation rate and hydraulic retention time. *J. Environ. Manag.*, v.303, p.114162. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.114162>

OLIVEIRA, A. C. G. et al. (2013). NMP de bactérias nitrificantes e desnitrificantes e sua relação com os parâmetros físico-químicos em lodo ativado para remoção biológica de nitrogênio de lixiviado de aterro sanitário. *Revista DAE*. n. 192, p. 60-70. <https://doi.org/10.4322/dae.2014.107>

OLIVEIRA, J.G. B. (2020) Pós-tratamento de efluente de UASB em reator de leito empacotado com aeração intermitente em escala piloto [Tese de Doutorado em Ciência e Tecnologia em Alimentos], Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa]. <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3361>

Paraná. Portaria nº 1045/2020. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes da ETE Iapó. INSTITUTO ÁGUA E TERRA – IAT.

PEREIRA, E. L. et al. (2009). Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura. *Ambi-Água*, Taubaté, v. 4, n. 3, p. 157-168.

POLAK, R. (2018) *Reator de leito empacotado em escala piloto para remoção de matéria orgânica e nitrogenada de esgoto sanitário* [Dissertação de Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental], Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa]. <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/2708>

STOLLE, E. M. (2022) *Remoção de nitratos de água de drenagem agrícola utilizando biorreatores com diferentes fontes de matéria orgânica* [Dissertação de Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa]. <https://tede2.uepg.br/jspui/handle/prefix/3759>

TORRES, D. M. et al. (2019a). Estudo de caso sobre a qualidade da água do Rio Potengi na cidade de São Paulo do Potengi, Rio Grande Do Norte, Brasil. *HOLOS*, Ano 35, v.8, e9193. <https://doi.org/10.15628/holos.2019.9193>

TORRES, D. M. et al. (2019b). Tratamento de efluentes e produção de água de reuso para fins agrícolas. *HOLOS*, Ano 35, v.8, e9192. <https://doi.org/10.15628/holos.2019.9192>

HOW TO CITE THIS ARTICLE

MARTINS DE ASSIS, T., BURGATH, F., WOSIACK, P., STOLLE, E., NIZER, J., CUNHA, G., ... BARANA, A. C. USO DE REATOR DE LEITO FIXO EM MEIO SUPORTE BIOBOB®, OPERANDO EM ESCALA PILOTO NA REMOÇÃO DE DQO E NITROGÊNIO TOTAL DE ESGOTO SANITÁRIO. *HOLOS*. Recuperado de <https://www2.ifrn.edu.br/ojs/index.php/HOLOS/article/view/16342>



ABOUT THE AUTHORS**T. M. ASSIS**

Pós-Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG. Atualmente, Professora Assistente no curso de graduação em Tecnologia de Mineração na Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG. Doutora em Engenharia Agrícola na área de concentração Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, com Estágio doutoral na Universidade Aix Marseille (França).

Email: tatianemassis@yahoo.com.br.

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8795-1823>

F. P. BURGATH

Bolsista de pós-doutorado na Universidade Estadual de Ponta Grossa – UEPG. Doutora em Microbiologia com pesquisa em Análise Polifásica de cepas de *beta-rizóbios* brasileiras pertencentes ao gênero *Paraburkholderia* pela Universidade Estadual de Londrina - UEL.

Email: fabipaulitsch@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1650-5949>

P.A. WOSIACK

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Tecnólogo em Alimentos pela UTFPR e biólogo pela UEPG.

E-mail: priawosiack@hotmail.com

Orcid ID: <https://orcid.org/0000-0001-6594-8538>

E. M. STOLLE

Doutoranda em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG. Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos com ênfase em Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG.

Email: e.elaine.macedo@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4965-7890>

J. V. T. NIZER

Doutorando em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG. Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos com foco em Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos para Geração Sustentável de Energia pela Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG.

Email: joaotischler.uepg@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4000-4933>

G. S. C. CUNHA

Estudante de graduação em Engenharia de Alimentos na Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, com experiência em pesquisa nas áreas de digestão anaeróbia e tratamento de esgoto sanitário, incluindo participação em um programa de mobilidade no Instituto Politécnico de Bragança – IPB (Portugal).

Email: gabriellcunha02@gmail.com

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0008-1408-9057>

G.L.P. QUEIROZ

Estudante de graduação e pesquisador júnior em Engenharia de Alimentos na área de abastecimento de água e tratamento de águas residuais na Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG.

Email: 18007625@uepg.br.

ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-0910-5560>

A. C. BARANA

Minha formação é em tratamento biológico de águas residuais. Pós-doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento (Universidade de São Paulo - USP) e Qualidade da Água (Universidade Estadual de Iowa - ISU/USA). Professora associada na Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Doutora em Agronomia (Universidade Estadual Paulista - UNESP).

Email: acbarana@uepg.br

ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0445-5240>

Editor: Francinaide de Lima Silva Nascimento

Ad Hoc Reviewer: Cristiane Kreutz e Fernando Neves Lima



Submitted October 25, 2023

Accepted November 29, 2023

Published December 19, 2023