

II-1295 - CO-TRATAMENTO DE LIXIVIADO MADURO E EFLUENTE ANAERÓBIO DOMÉSTICO EM REATOR ANAMMOX SOB DIFERENTES RAZÕES DE DILUIÇÃO

Luyara de Almeida Fernandes⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Centro Universitário do Leste de Minas Gerais. Mestre e doutoranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Thayná Guimarães Silva

Engenheira Ambiental e Sanitarista pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG). Mestranda em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG.

Ana Luiza Pereira Queiroz

Graduanda em Química pela UFMG.

Maria Eduarda Simião dos Anjos

Graduanda em Ciências Biológicas pela UFMG.

Juliana Calábria de Araújo

Professora Associada no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG.

Endereço⁽¹⁾: Av. Pres. Antônio Carlos, 6627 - Pampulha, Belo Horizonte - MG, 31270-901 - Brasil - Tel: (31) 3409-1882 - e-mail: luyarafarnandes@hotmail.com

RESUMO

A disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários é uma prática adotada mundialmente, principalmente por suas vantagens. Embora atrativa, um inconveniente é a geração de lixiviado, efluente líquido produzido pela percolação da água da chuva por meio dos resíduos, processos bioquímicos nas células e sua água inerente. Esse efluente de composição complexa apresenta alto potencial poluidor e tem como principais constituintes o nitrogênio amoniacal (NH_4^+) e matéria orgânica, que são também os principais alvos dos tratamentos aplicados a este efluente.

O nitrogênio é um nutriente tipicamente encontrado no ambiente natural. Entretanto, o aumento das concentrações tipicamente como NH_4^+ nos corpos d'água tem despertado preocupação. O excesso de NH_4^+ pode apresentar riscos à saúde humana e aos organismos aquáticos, o que torna então essencial o tratamento para sua remoção das fontes contribuintes.

O co-tratamento do lixiviado maduro e efluente anaeróbico em diferentes proporções tem sido investigado, com viabilidade técnica e econômica apresentadas, utilizando o processo de oxidação anaeróbia de amônia (Anaerobic Ammonium Oxidation – anammox) combinado com a nitrificação parcial (NP/A) (Wu et al., 2015, 2018, 2019). O processo anammox é biológico, autotrófico, onde bactérias de mesmo nome convertem NH_4^+ em nitrogênio gasoso, na presença de nitrito, que é o aceptor final de elétrons.

O processo é considerado uma alternativa promissora para a remoção de NH_4^+ de efluentes e se destaca por ser ambientalmente sustentável e economicamente viável (Ma et al., 2016). Tem sido aplicado com sucesso no tratamento de efluentes com alta carga de nitrogênio como os lixiviados maduros de aterros sanitários (Fernandes et al., 2022). O co-tratamento de lixiviado maduro com efluente anaeróbico é prática comum em países em desenvolvimento como o Brasil, porém, a remoção de nitrogênio não é contemplada. Uma vez que o excesso de nitrogênio pode provocar problemas ao meio ambiente e saúde pública, que o processo anammox tem demonstrado viabilidade técnica e econômica no co-tratamento, e que as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) podem ser pontos focais de aplicação para prevenção dos problemas, esta pesquisa objetivou investigar o desempenho do processo anammox no co-tratamento de lixiviado maduro e efluente anaeróbico.

PALAVRAS-CHAVE: Anammox. Lixiviado maduro. Esgoto doméstico. Nitrificação parcial. Co-tratamento.

INTRODUÇÃO

A disposição de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários é uma prática adotada mundialmente, principalmente por suas vantagens. Embora atrativa, um inconveniente é a geração de lixiviado, efluente líquido produzido pela percolação da água da chuva por meio dos resíduos, processos bioquímicos nas células e sua água inerente. Esse efluente de composição complexa apresenta alto potencial poluidor e tem como

principais constituintes o nitrogênio amoniacal (NH_4^+) e matéria orgânica, que são também os principais alvos dos tratamentos aplicados a este efluente.

O nitrogênio é um nutriente tipicamente encontrado no ambiente natural. Entretanto, o aumento das concentrações tipicamente como NH_4^+ nos corpos d'água tem despertado preocupação. O excesso de NH_4^+ pode apresentar riscos à saúde humana e aos organismos aquáticos, o que torna então essencial o tratamento para sua remoção das fontes contribuintes.

O co-tratamento do lixiviado maduro e efluente anaeróbico em diferentes proporções tem sido investigado, com viabilidade técnica e econômica apresentadas, utilizando o processo de oxidação anaeróbia de amônia (Anaerobic Ammonium Oxidation – anammox) combinado com a nitrificação parcial (NP/A) (Wu et al., 2015, 2018, 2019). O processo anammox é biológico, autotrófico, onde bactérias de mesmo nome convertem NH_4^+ em nitrogênio gasoso, na presença de nitrito, que é oceptor final de elétrons.

O processo é considerado uma alternativa promissora para a remoção de NH_4^+ de efluentes e se destaca por ser ambientalmente sustentável e economicamente viável (Ma et al., 2016). Tem sido aplicado com sucesso no tratamento de efluentes com alta carga de nitrogênio como os lixiviados maduros de aterros sanitários (Fernandes et al., 2022). O co-tratamento de lixiviado maduro com efluente anaeróbico é prática comum em países em desenvolvimento como o Brasil, porém, a remoção de nitrogênio não é contemplada. Uma vez que o excesso de nitrogênio pode provocar problemas ao meio ambiente e saúde pública, que o processo anammox tem demonstrado viabilidade técnica e econômica no co-tratamento, e que as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) podem ser pontos focais de aplicação para prevenção dos problemas, esta pesquisa objetivou investigar o desempenho do processo anammox no co-tratamento de lixiviado maduro e efluente anaeróbico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Realizou-se inicialmente uma etapa de cultivo e bioaugmentação de bactérias com atividade anammox por 453 dias. O inóculo, proveniente de uma ETE de lodos ativados, juntamente com meio de cultura autotrófico anaeróbico (van de Graaf et al., 1996) alimentaram o reator de mistura completa operado em bateladas sequenciais (RBS), escala laboratorial, utilizado em todas as fases dessa pesquisa. O RBS, fabricado em vidro, possui 10 L de volume de trabalho e sondas de temperatura, oxigênio dissolvido (OD) e pH. O mesmo foi mantido a 35 °C, Tempo de Detenção Hidráulico (TDH) de 48 horas e pH de 7,5.

Em seguida, o RBS foi alimentado com a mistura de lixiviado maduro, proveniente de um aterro sanitário já desativado e efluente anaeróbico doméstico proveniente de reator UASB – escala demonstração, em diferentes razões, mantendo as condições operacionais adotadas na etapa de bioaugmentação. A concentração média de NH_4^+ no lixiviado e no efluente anaeróbico eram de 820 mg/L e 56,5 mg/L, respectivamente, enquanto a concentração de DQO (Demanda Química de Oxigênio) era de 907 mg/L e 166 mg/L, respectivamente. Visando a aclimação gradual da biomassa e evitar efeitos de inibição, foram realizadas etapas com concentração crescente de lixiviado no efluente anaeróbico, de 10% a 20%, no volume final de 5L para alimentar diariamente o RBS, adicionando no início de cada ciclo operacional, uma solução concentrada de nitrito para ser oceptor final de elétrons. Foi adotada essa estratégia a fim de avaliar o desempenho do processo anammox no co-tratamento sem interferência de OD para propiciar a oxidação parcial de NH_4^+ . Em seguida serão realizadas as mesmas fases operacionais, sem a adição de nitrito, iniciando a NP. Além de NH_4^+ e DQO, a produção de nitrato é monitorada, bem como amostras da biomassa ao final de cada fase, para posterior investigação da comunidade microbiana.

RESULTADOS OBTIDOS

O RBS escala laboratorial foi inoculado e monitorado durante 453 dias bioaugmentação de bactérias anammox. A partir do início do monitoramento, notou-se elevada eficiência de remoção de NH_4^+ e nitrito (NO_2^-) com média superior a 90%. O consumo simultâneo de NH_4^+ e NO_2^- foi observado também em proporções estequiométricas próximas às descritas na literatura (1,32, $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$). A média dessa fase foi de 1,53. Coeficiente estequiométrico de produção de nitrato por consumo de amônio ($\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$) também foi monitorado e apresentou valor médio de 0,33 (literatura: 0,26).

Em seguida, o RBS foi submetido ao co-tratamento de lixiviado maduro e efluente anaeróbico por 306 dias divididos em 4 fases, suplementado com nitrito no início de cada ciclo de operação. Na fase 1 adotou-se

diluição de 10% de lixiviado em efluente anaeróbico, no volume final de 5 litros (TDH de 48 horas), por 39 dias. A concentração de NH_4^+ , NO_2^- e DQO nessa etapa foi de 96 mg/L, 161 mg/L e 323 mg/L, respectivamente, com eficiência de remoção de 90%, 99% e 62%. Nesta fase, NH_4^+ efluente atingiu média de 8,7 mg/L. O NO_3^- produzido apresentou média de 17,8 mg/L. A remoção de nitrogênio total (NT) alcançou 89%. Os coeficientes estequiométricos $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ e $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ foram 1,9 e 0,21, respectivamente.

Na fase 2 foi adotou-se diluição de 20% de lixiviado maduro no efluente anaeróbico, mantendo as mesmas condições da fase 1, por 28 dias (40º ao 68º dia de operação). A concentração média afluente de NH_4^+ , NO_2^- , NT e DQO nesta fase foi de 241,2 mg/L, 229,2 mg/L, 470,4 mg/L e 481,8 mg/L, respectivamente. Na mesma sequência, a eficiência de remoção atingiu 76,1%, 77,6%, 71,9% e 43,7%. A produção de NO_3^- atingiu média de 31,4 mg/L, sendo o valor estimado a partir do consumo de NH_4^+ em 72 mg/L. Os coeficientes estequiométricos $\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ e $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ apresentaram média de 1,08 e 0,17, respectivamente. Nesta fase, após o dia 55, houve redução drástica da eficiência de remoção tanto de NO_2^- quanto de NH_4^+ , e, portanto, a fase foi encerrada.

Constatada a redução no desempenho do RBS na fase 2, retornou-se à diluição adotada na fase 1 (10%) para a fase 3 por 124 dias, com objetivo de restaurar a eficiência de remoção dos compostos. NH_4^+ , NO_2^- e DQO apresentaram eficiência de remoção média de 90,7%, 95,8% e 60%, respectivamente. A fase 4 (194º ao 306º dia de operação) foi realizada na diluição de 15%, e eficiências de 98%, 73% e 56% para NH_4^+ , NO_2^- e DQO foram alcançadas.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Considerando que não houve aclimação da biomassa aos novos efluentes e que a eficiência de remoção de nitrogênio alcançou 89% na fase 1, semelhante à bioaugmentação (89,4%), constata-se que não houve prejuízos à estabilidade do RBS. Observou-se também que o NO_2^- suplementado em excesso favoreceu o consórcio microbiano presente, onde bactérias desnitrificantes heterotróficas o utilizaram para a remoção do NO_3^- produzido na reação anammox, assim como nas demais fases. O consumo de DQO corrobora para esta ocorrência em todas as fases. Apesar de concentração acima de 100 mg/L de NO_2^- já ter sido reportada como inibitória para as anammox (Marc Strous et al., 1999), nas fases 1, 3 e 4 este efeito não foi constatado.

De acordo com Wu et al. (2019), remoção completa de DQO é difícil ser alcançada no tratamento de lixiviados e ainda pode afetar a atividade das anammox. Chamchoi et al. (2008) concluíram que a atividade anammox não pode ser suprimida quando a concentração de DQO é inferior a 300 mg/L, o que também foi observado nesta pesquisa nas fases 1, 3 e 4. Na fase 2 (diluição de 20%), o incremento de NO_2^- e DQO (42,3% e 49%, respectivamente), pode ter contribuído para o declínio da eficiência.

A partir do 77º dia, (8 dias após o retorno da diluição de 10% na fase 3), a eficiência de remoção de NH_4^+ e NO_2^- retornou a valores acima de 90%, demonstrando a robustez do processo. Os coeficientes estequiométricos ($\text{NO}_2^-/\text{NH}_4^+$ e $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ de 1,22 e 0,07, respectivamente) apontaram a cooperação entre anammox e desnitrificantes, uma vez que coeficiente $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ próximo de zero são obtidos quando o processo de desnitrificação está ocorrendo (Nutchana Chamchoi & Nitisoravut, 2007). O NO_2^- consumido durante esta fase foi inferior ao necessário para o total de NH_4^+ removido, o que indica ocorrência de desnitrificação parcial de NO_3^- a NO_2^- , uma vez que o NO_3^- medido foi inferior ao estimado.

Na fase 4, apesar do aumento na razão de diluição para 15%, as concentrações foram reduzidas em decorrência das chuvas, que contribuíram para diluição dos efluentes. Comparativamente às fases 1 e 3, que apresentaram estabilidade e desempenho satisfatório de NH_4^+ , NO_2^- e DQO acima de 90%, 95% e 60% de eficiência de remoção, respectivamente, esta fase alcançou resultado inferior na remoção de DQO e NO_2^- , mas também a concentração afluente de DQO foi a menor (248,2 mg/L) entre elas.

CONCLUSÕES

Considerando a pesquisa realizada e a análise dos resultados, destaca-se que o inóculo foi adequado para o cultivo e bioaugmentação de bactérias com atividade anammox no RBS 10 litros e que as condições operacionais testadas revelaram que a biomassa enriquecida se mostrou resistente à transição de efluentes empregados nesta pesquisa.

Diluições de 10% e 15% foram empregadas por mais de 100 dias no RBS anammox para o co-tratamento de lixiviado maduro e efluente anaeróbico doméstico, proporcionando remoção de nitrogênio total acima de 90% e 70%, respectivamente.

A matéria orgânica tipicamente recalcitrante dos lixiviados maduros não provocou inibição aparente nas bactérias anammox com taxa de diluição até 15%. Com 20% de diluição houve redução do desempenho do reator, recuperado logo em seguida pela redução da taxa de diluição.

Concentração de DQO acima de 300 mg/L foram aplicadas e proporcionaram melhor desempenho do reator, contribuindo com a desnitrificação e remoção de NT, quando NH_4^+ e NO_2^- não ultrapassaram 200 mg/L.

Anammox e desnitrificantes coexistiram sem prejuízos ao desempenho do reator, e os dados sugerem que as primeiras foram beneficiadas pelas condições aplicadas em comparação às segundas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Chamchoi, N., Nitisoravut, S., & Schmidt, J. E. (2008). Inactivation of ANAMMOX communities under concurrent operation of anaerobic ammonium oxidation (ANAMMOX) and denitrification. *Bioresource Technology*, 99(9), 3331–3336. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.029>
2. Chamchoi, Nuchanat, & Nitisoravut, S. (2007). Anammox enrichment from different conventional sludges. *Chemosphere*. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.09.036>
3. Fernandes, L. D. A., Madeira, C. L., & de Araújo, J. C. (2022). Nitrogen removal based on anammox-based processes applied to mature landfill leachate diluted with domestic wastewater: a review. *Environmental Technology Reviews*, 11(1), 243–265. <https://doi.org/10.1080/21622515.2022.2147452>
4. Ma, B., Wang, S., Cao, S., Miao, Y., Jia, F., Du, R., & Peng, Y. (2016). Biological nitrogen removal from sewage via anammox: Recent advances. *Bioresource Technology*, 200, 981–990. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.10.074>
5. Strous, Marc, Kuenen, J. G., & Jetten, M. S. M. (1999). Key Physiology of Anaerobic Ammonium Oxidation. *Applied and Environmental Microbiology*, 65(7), 0–3. <https://doi.org/papers2://publication/uuid/E9A1573A-6D62-420E-94D0-CA7C84D0FEB9>
6. van de Graaf, A. A., de Bruijn, P., Robertson, L. A., Jetten, M. S. M., & Kuenen, J. G. (1996). Autotrophic growth of anaerobic ammonium-oxidizing micro-organisms in a fluidized bed reactor. *Microbiology*, 142(8), 2187–2196. <https://doi.org/10.1099/13500872-142-8-2187>
7. Wu, L., Li, Z., Huang, S., Shen, M., Yan, Z., Li, J., & Peng, Y. (2019). Low energy treatment of landfill leachate using simultaneous partial nitrification and partial denitrification with anaerobic ammonia oxidation. *Environment International*, 127(October 2018), 452–461. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.02.071>
8. Wu, L., Li, Z., Zhao, C., Liang, D., & Peng, Y. (2018). A novel partial-denitrification strategy for post-anammox to effectively remove nitrogen from landfill leachate. *Science of the Total Environment*, 633, 745–751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.213>
9. Wu, L., Zhang, L., Shi, X., Liu, T., Peng, Y., & Zhang, J. (2015). Analysis of the impact of reflux ratio on coupled partial nitrification-anammox for co-treatment of mature landfill leachate and domestic wastewater. *Bioresource Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.072>