

II-078 - TRATAMENTO DE ESGOTO COM REMOÇÃO BIOLÓGICA DE NITROGÊNIO E BAIXA EMISSÃO DE N₂O POR UM REATOR ANÓXICO-AERÓBIO EM ESCALA DE LABORATÓRIO

Jaime Lopes da Mota Oliveira⁽¹⁾

Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Pesquisador do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental da Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, FIOCRUZ.

Renato Pereira Ribeiro⁽²⁾

Licenciado em Química pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Mestre em Geociências (Geoquímica Ambiental) pela UFF. Doutorando em Geociências (Geoquímica Ambiental) na UFF.

William Zamboni de Mello⁽²⁾

Químico Industrial pela Universidade Federal Fluminense (UFF). Doutor em Earth Sciences (Geochemical Systems) pela University of New Hampshire - Durham (NH), EUA. Professor Associado do Departamento de Geoquímica do Instituto de Química da UFF.

Yngrid Synara de Sena Silva⁽¹⁾

Licencianda em Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Bolsista PIBIC/FIOCRUZ de Iniciação Científica.

Débora Cynamon Kligerman⁽¹⁾

Engenheira Civil pela UERJ. Pesquisadora Titular do Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental da Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, FIOCRUZ.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Saneamento e Saúde Ambiental, Escola Nacional de Saúde Pública, Fundação Oswaldo Cruz, Rua Leopoldo Bulhões, 1480, 21041-210, Rio de Janeiro - RJ, Brasil - e-mail: jaimel@ensp.fiocruz.br

RESUMO

As emissões de óxido nitroso (N₂O) foram determinadas nos dias 26 e 28 de novembro de 2013, e 05 e 10 de dezembro de 2013, em um sistema de tratamento de esgotos em escala de bancada. O sistema anóxico-aeróbio empregado no sistema apresentou elevada eficiência na remoção de DQO e NT em condições de baixa carga, com baixa produção de lodo, correspondendo em média a 0,5 g SSV dia⁻¹, e baixa emissão de N₂O, em média representou 2% da carga de NT afluente. A elevada idade do lodo e a baixa relação A/M contribuíram para a baixa produção de lodo no reator, que no balanço de massas do N evidenciou a rota de produção de N₂ como a principal via de remoção biológica de N.

PALAVRAS-CHAVE: Óxido nitroso, lodos ativados, anóxico-aeróbio.

INTRODUÇÃO

Os sistemas de tratamento de esgotos domésticos normalmente priorizam a remoção da matéria orgânica carbonácea, mas há uma tendência na preocupação com os compostos nitrogenados. Isto porque, a eutrofização é uma dentre as principais consequências do descarte direto desses compostos no meio hídrico (VON SPERLING, 2005). A remoção biológica de nitrogênio é uma das metas do tratamento terciário de esgotos, e uma vez acertada as suas vias de metabolização seja pela nitrificação e/ou desnitrificação, os custos na recuperação ambiental de áreas impactadas por estes compostos são mais reduzidos (VON SPERLING, 2012).

O sistema por lodos ativados é o mais utilizado em escala mundial, mas variações deste processo podem ser elaboradas para atender as exigências legais e ambientais. A operação deste processo com elevadas concentrações de oxigênio dissolvido (OD) maior que 2 mg L⁻¹, por exemplo, pode favorecer a nitrificação completa, pois, na maioria dos casos, ela oferece as condições ideais para a conversão do amônio (NH₄⁺) a nitrato (NO₃⁻) (POLLICE et al., 2002). Tal metabolismo pode ser favorecido em países de clima tropical como o Brasil, desde que esses sistemas operem com reduzida idade do lodo (BROTTO, 2011). Por outro lado, a

efetiva remoção do nitrogênio deve ocorrer pela desnitrificação, onde o nitrogênio na forma de NO_3^- é reduzido nitrogênio molecular (N_2). No entanto, o controle operacional inadequado ou até mesmo a ausência de ajustes operacionais impossibilita a ocorrência deste processo em sistemas de tratamento de esgotos. Alterações no processo por lodos ativados convencional, tais como a incorporação de zonas anóxicas e sistemas de recirculação interna do esgoto podem contribuir para a maior eficiência de desnitrificação (VON SPERLING, 2012).

Um dos problemas ambientais mais recentes relatados na literatura é a emissão do óxido nitroso (N_2O), um gás do efeito estufa, por processos de tratamento de esgotos. Segundo o IPCC (2006), o controle inadequado desses processos biológicos (nitrificação e desnitrificação) pode gerar problemas ambientais relacionados à emissão de N_2O . Na troposfera o N_2O é o terceiro gás permanente responsável pelo efeito estufa com contribuição à força radiativa de aproximadamente $+0,16 \text{ W m}^{-2}$, ou seja, 6% relativo à contribuição total de gases (IPCC, 2007). Na estratosfera, este gás é a principal fonte de óxido nítrico (NO) contribuindo indiretamente para o consumo da camada de ozônio (O_3) (RAVISHANKARA et al., 2009).

O presente estudo teve como objetivo principal desenvolver um processo por lodos ativados em escala de laboratório com remoção biológica de nitrogênio e com a menor emissão de N_2O .

MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de tratamento de esgotos por lodos ativados com aeração prolongada em escala de bancada foi composto por um reator único ($V = 19,5 \text{ L}$) com quatro câmaras adjacentes e interligadas seguida por um decantador. As duas primeiras câmaras eram anóxicas com difusores de bolhas grossas seguidas por duas câmaras aeróbias com difusores de bolhas finas. A última câmara foi caracterizada como anóxica-aeróbia pois possuía sistema de aeração intermitente com 30 minutos sem aeração seguido de 30 minutos com aeração (**Figura 1**). A vazão de ar total empregada no reator variou de 20 a 50 L h^{-1} . A vazão de recirculação do lodo foi mantida a 100% da vazão de entrada de esgoto bruto. A recirculação interna entre as câmaras 4 e 1 foi realizada para proporcionar o retorno de nitrito (NO_2^-) ou nitrato (NO_3^-) produzidos e favorecer a desnitrificação, onde foi empregado uma taxa de 300% à vazão de entrada de esgoto bruto. Deste modo, foi mantida uma idade do lodo entre 19 e 22 dias e tempo de detenção hidráulica de 10 horas. O processo foi conduzido por 6 meses (julho a dezembro/2013) com uma relação alimento/microrganismo (A/M) em média de $0,10 \text{ kg DQO/kg}^{-1} \text{ SSV dia}^{-1}$ e uma concentração média de biomassa de $3.000 \text{ mg SSV L}^{-1}$.

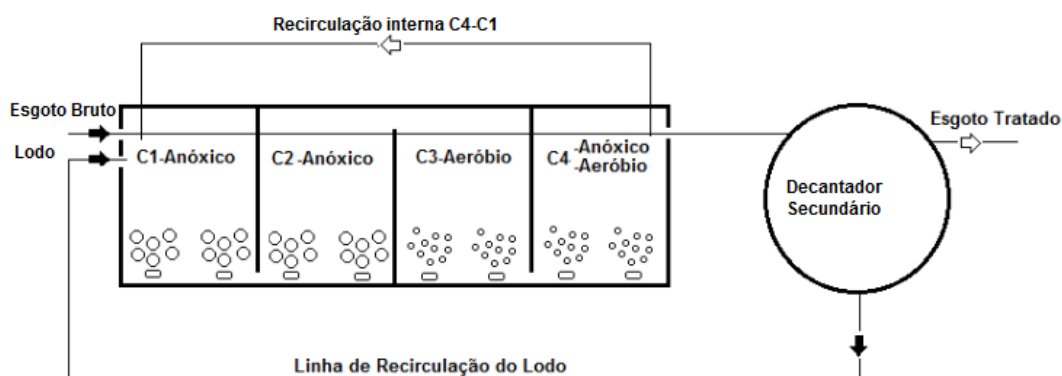


Figura 1: Esquema do sistema anóxico-aeróbio de tratamentos de esgotos por lodos ativados em escala de laboratório.

Apesar de o processo permanecer em operação por seis meses, para este estudo foram utilizados os resultados das quatro últimas campanhas de amostragem (26 e 28 de novembro e 05 e 10 de dezembro de 2013), pois nesse período foram realizadas as medições de N_2O . Os meses anteriores foram monitorados para a verificação da robustez do processo em relação à remoção de DQO e nitrogênio total (NT). Foram realizadas coletas de amostras gasosas para a medição do fluxo de N_2O e da mistura para a determinação das concentrações de NH_4^+ , NO_2^- e NO_3^- nas quatro câmaras do reator. Durante as amostragens também foram realizadas medições da concentração de OD por meio de uma sonda multiparamétrica (Hanna Instruments, modelo HI-9828). Além disso, foram coletadas amostras de esgoto bruto e tratado para a determinação da concentração de DQO e NT.

Os procedimentos de coleta e análises das amostras de gás para determinação das concentrações de N_2O , bem como o cálculo do seu fluxo pelo processo foram os mesmos adotados por Ribeiro et al. (2013). A determinação de DQO, NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- e NT seguiram os procedimentos citados no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A **Tabela 1** apresenta os valores das cargas de DQO e NT afluentes ao reator de bancada, além dos respectivos valores de remoção nas quatro últimas amostragens do processo. Em média, a eficiência do processo em relação à remoção de DQO e NT ao longo dos seis meses de operação foi de 90 e 50%, respectivamente. Considerando a baixa carga carbonácea e nitrogenada afluente, o desempenho do processo foi satisfatório de acordo com a literatura (OLIVEIRA E VON SPERLING, 2005).

Tabela 1: Dados de carga de DQO e NT afluentes ao reator de bancada e remoção de DQO e NT nos dias 26 e 28 de novembro, 05 e 10 de dezembro de 2013.

Amostragem dia/mês/ano	Carga de DQO afluente (g DQO dia ⁻¹)	Remoção de DQO (%)	Carga de NT afluente (g N dia ⁻¹)	Remoção de NT (%)
26/11/2013	6,1	77	1,1	51
28/11/2013	5,2	94	1,1	61
05/12/2013	17,7	89	5,6	80
10/12/2013	4,4	73	1,1	58

A **Figura 2** mostra que as maiores emissões de N_2O foram observadas quando a concentração de OD estava entre 1,5 a 2,0 mg L⁻¹ (05 de dezembro/2013). Esse resultado foi o mesmo reportado por Brotto (2011) que encontrou um pico máximo de emissão de N_2O por uma ETE com aeração modificada em concentração de OD próxima a 2,0 mg L⁻¹. Este estudo obteve uma relação positiva entre as emissões de N_2O e as concentrações de NO_2^- no tanque de aeração, caracterizando o processo de nitrificação incompleto.

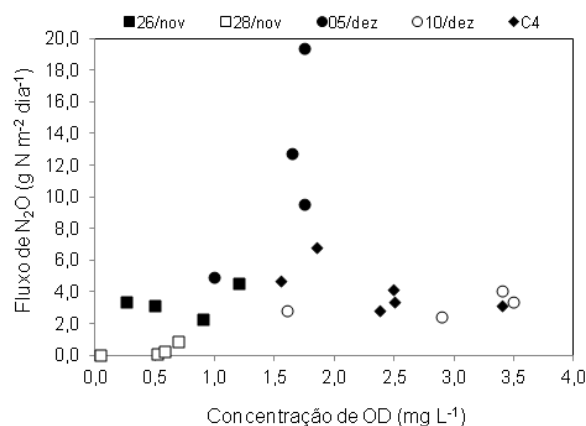


Figura 2: Dados de fluxo de N_2O em função da concentração de OD no reator de bancada referentes aos dias 26 e 28 de novembro, 05 e 10 de dezembro de 2013, além de uma amostragem realizada apenas na câmara 4 (aeração intermitente) no dia 10 de dezembro de 2013.

A **Figura 3** mostra a dinâmica da transformação do nitrogênio no reator nessas quatro câmaras ao longo do período da campanha de amostragem de N_2O . Em novembro a carga de nitrogênio era baixa (**Tabela 1**), onde no dia 26 foi observada a nitrificação onde o NH_4^+ era convertido a NO_2^- e parte deste convertido a NO_3^- com uma faixa de OD entre 0,25 e 1,25 mg L⁻¹. Sob tal condição foi reduzida a taxa de aeração, provocando a diminuição do OD nas quatro câmaras, atingindo um máximo de 0,5 mg L⁻¹ na câmara 4, o que favoreceu o processo de desnitrificação. Nesta amostragem foi medida baixa concentração de NO_2^- e NO_3^- ao longo do reator. Vale ressaltar que nesses dois momentos a carga orgânica e nitrogenada afluente foi mantida. Em dezembro a carga orgânica afluente aumentou atingindo cerca de 3 vezes a anterior (**Tabela 1**). Este choque de carga levou a aumentar a taxa de aeração onde o gradiente foi iniciado com 1,0 mg L⁻¹ na câmara 1 chegando a

1,5 mg L⁻¹ na câmara 4. Tal condição se mostrou ineficaz para a nitrificação completa do nitrogênio onde foram medidas altas concentrações de NO₂⁻ e baixas de NO₃⁻. Esta condição favoreceu a produção de N₂O por se tratar de um importante intermediário metabólico da nitrificação (WRAGE et al., 2001), além de sua alta emissão (**Figura 2**) por difusão ou *air stripping* (LAW et al., 2012) devido à alta taxa de aeração aplicada. Brotto (2011) já havia relatado a relação do NO₂⁻ com a alta produção e emissão de N₂O. Por outro lado, o reestabelecimento da carga afluyente no dia 10 de dezembro foi observado uma elevação da concentração de OD no reator com uma concomitante alta na concentração de NO₃⁻ e redução do NO₂⁻ mostrando a ocorrência da nitrificação completa. Neste período foi medida uma redução na emissão do N₂O uma vez que os intermediários da nitrificação estavam sendo consumidos.

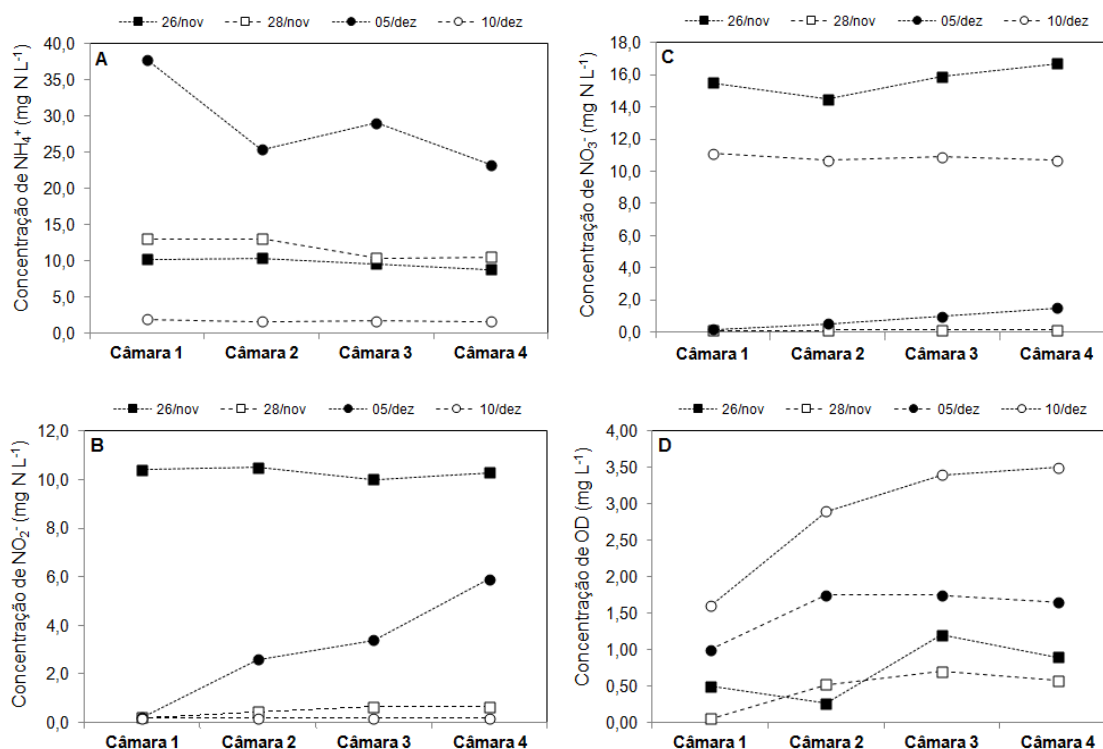


Figura 3: Dados de (a) NH₄⁺, (b) NO₂⁻, (c) NO₃⁻ e (d) OD nas quatro câmaras do reator de bancada referentes aos dias 26 e 28 de novembro, 05 e 10 de dezembro de 2013, além de uma amostragem realizada apenas na câmara 4 (aeração intermitente) no dia 10 de dezembro de 2013.

Vale ressaltar que o perfil do gradiente de OD ao longo do reator nas quatro câmaras foi mantido, onde a primeira possui uma menor concentração chegando a sua elevação no último estágio. Este gradiente não só favoreceu as etapas de desnitrificação e nitrificação como não permitiu o desprendimento do N₂O pelo processo. Apesar de em 5 de dezembro ter sido observada uma alta taxa de emissão de N₂O, o percentual relativo à carga de NT afluyente foi semelhante aos demais dias de amostragem.

CONCLUSÕES

A remoção de N foi obtida como resultado do adequado controle operacional das câmaras anóxicas e aeróbias, o que só foi possível em virtude do acompanhamento das formas nitrogenadas inorgânicas intermediárias dos processos de nitrificação e desnitrificação. A partir do monitoramento das quatro amostragens realizadas (26 e 28/11 e 05 e 10/12) ficou evidente a importância do acompanhamento das concentrações de NH₄⁺, NO₂⁻, N₂O e NO₃⁻ no reator, uma vez que ajustes operacionais realizados nesses quatro dias de amostragem, como diminuição da vazão de ar para redução das concentrações de NO₂⁻ no reator ou aumento da vazão de ar em virtude do aumento da carga de NH₄⁺ afluyente, aumento no tempo de detenção hidráulico das câmaras anóxicas para redução das formas de NO₂⁻ e NO₃⁻ e aumento na eficiência de desnitrificação, somente foram realizadas em virtude desse acompanhamento. Portanto, o sistema com quatro câmaras anóxico-aeróbio empregado no

sistema de bancada apresentou elevada eficiência na remoção de DQO e NT em condições de baixa carga com baixa emissão de N₂O.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 21 ed., American Public Health Association: Washington, 2012.
2. BROTTTO, A. C. Fatores de controle das emissões de óxido nitroso (N₂O) em tanque de aeração de Estação de Tratamento de Esgoto. 2011. 73 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2011.
3. IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge, United Kingdom; New York, NY, USA: Cambridge University Press, 2007.
4. OLIVEIRA, S. M. A.; VON SPERLING, M. Avaliação de 166 ETES em operação no país, compreendendo diversas tecnologias. Parte 1: Análise de desempenho. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 10, n. 4, p. 347-357, 2005.
5. POLLICE, A.; TANDOI, V.; LESTINGI, C. Influence of aeration and sludge retention time on ammonium oxidation to nitrite and nitrate. *Water Research*, v. 36, p. 2541-2546, 2002.
6. RAVISHANKARA, A. R.; DANIEL, J. S.; PORTMAN, R. W. Nitrous oxide (N₂O): The dominant ozone-depleting substance emitted in the 21st Century. *Science*, v. 326, p. 123-125, 2009.
7. RIBEIRO, R. P.; DE MELLO, W. Z.; KLIGERMAN, D. C.; OLIVEIRA, J. L. M.; ALVIM, R. B.; ANDRADE, S. A.; BROTTTO, A. C.; DE ALMEIDA, P. A. Emissões de óxido nitroso do tanque de aeração de uma estação de tratamento de esgotos com sistema de lodos ativados convencional. *Química Nova*, v. 36, p. 998-1003, 2013.
8. TALLEC, G.; GARNIER, J.; BILLEN, G.; GOUSAILLES, M. Nitrous oxide emissions from secondary activated sludge in nitrifying conditions of urban wastewater treatment plants: Effect of oxygenation level. *Water Research*, v. 40, p. 2972-2980, 2006.
9. VON SPERLING, M. Lodos ativados, vol. 4, *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*, 2 ed., Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2002.
10. VON SPERLING, M. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Vol. 1. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos, 3 ed., Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais: Belo Horizonte, 2005.