



Acta Scientiarum. Technology

ISSN: 1806-2563

eduem@uem.br

Universidade Estadual de Maringá
Brasil

Teixeira, Roberta Miranda; Reginatto, Valeria; Fontanella Pereira, Franciny; Moreira Soares, Hugo;
Furigo Júnior, Agenor

Remoção de nitrogênio de efluente agroindustrial utilizando biorreatores

Acta Scientiarum. Technology, vol. 30, núm. 2, 2008, pp. 209-213

Universidade Estadual de Maringá
Maringá, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=303226522012>

- Como citar este artigo
- Número completo
- Mais artigos
- Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica
Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto

Remoção de nitrogênio de efluente agroindustrial utilizando biorreatores

Roberta Miranda Teixeira¹, Valeria Reginatto^{2*}, Franciny Fontanella Pereira¹, Hugo Moreira Soares¹ e Agenor Furigo Júnior¹

¹Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. ²Departamento de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Rod. Admar Gonzaga, 1346, 88034-001, Itacorubi, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: valeria@cca.ufsc.br

RESUMO. O trabalho tem como objetivo avaliar a remoção de nitrogênio do efluente de uma indústria frigorífica utilizando biorreatores de nitrificação e desnitrificação. O sistema foi composto por dois reatores de fluxo contínuo operados em série: um reator híbrido (anaeróbio/anóxico) conectado a um reator tipo filtro biológico de fluxo ascendente com aeração, o qual possuía um reciclo para o reator híbrido. A alimentação foi realizada com água residuária proveniente da estação de tratamento de uma indústria processadora de aves e suínos. O acompanhamento do processo foi realizado por análises periódicas da concentração de amônia, nitrato, nitrito, alcalinidade, demanda química de oxigênio (DQO) e pH. A eficiência do sistema na remoção de nitrogênio foi comparada com a eficiência teórica máxima para a razão de reciclo utilizada.

Palavras-chave: nitrificação, desnitrificação, remoção de nitrogênio.

ABSTRACT. Nitrogen removal from agro-industrial wastewater using bioreactors. This work evaluates the process of nitrogen removal from wastewater at a meat processing plant, using nitrification and denitrification in bioreactors. The system was composed of two reactors with continuous flow operated in series: a hybrid reactor (anaerobic/anoxic) connected to an ascending flow biological filter with aeration, which recycled into the hybrid reactor. Feeding was accomplished with wastewater from the treatment station of a poultry and swine processing plant. The process was monitored by periodic analysis of the concentrations of ammonia, nitrate, nitrite, alkalinity, chemical oxygen demand (COD) and pH. The nitrogen removal efficiency of the system was compared with the maximum theoretical efficiency for the recycle rate used.

Key words: nitrification, denitrification, nitrogen removal.

Introdução

Os efluentes industriais oriundos do processamento de carnes são caracterizados por seu alto teor de proteína, a qual é responsável pela alta concentração de nutrientes, principalmente nitrogênio em suas diferentes formas (EPA, 1993). O nitrogênio orgânico presente, nestes efluentes, é degradado principalmente em amônia, a qual não é oxidada em condições anaeróbias. A descarga de efluentes que contém altas concentrações de amônia é indesejável, pois pode causar, junto com o fósforo, a eutrofização do meio (EPA, 1993).

Os processos de nitrificação e desnitrificação biológica vêm sendo amplamente utilizados na remoção de nitrogênio dos efluentes antes de seu despejo. O processo dá-se, geralmente, em duas etapas. O primeiro passo, conhecido como nitrificação, é a oxidação da amônia a nitrito e

nitrato, realizada por bactérias nitrificantes autotróficas. Esta etapa sofre inibição por matéria orgânica, a qual provoca o desenvolvimento de bactérias heterotróficas que assimilam amônia e reduz sua disponibilidade para as bactérias nitrificantes. Tal inibição torna-se mais pronunciada quando a concentração de oxigênio dissolvido no meio é baixa, já que as bactérias heterotróficas competem com vantagem pelo oxigênio (Akunna *et al.*, 1994; Bernet *et al.*, 2000).

A segunda etapa envolve a redução de nitrato e nitrito a nitrogênio gasoso. Este processo, chamado de desnitrificação, é realizado por microrganismos anaeróbios facultativos. Na ausência de oxigênio, as bactérias desnitrificantes utilizam nitrato e nitrito como aceptores finais de elétrons, oxidando matéria orgânica e inorgânica que serve como doadora de elétrons. A desnitrificação heterotrófica é a mais

frequentemente utilizada em tratamento de efluentes, em que vários doadores de elétrons podem ser utilizados, como, por exemplo, o carbono orgânico já disponível no efluente a ser tratado (Akunna et al., 1994). Em casos de baixas relações carbono/nitrogênio, o carbono orgânico do efluente digerido pode ser insuficiente para uma completa desnitrificação, e a adição de uma fonte externa de carbono pode ser necessária (Bernet et al., 2000).

Estudos anteriores têm demonstrado que carbono e nitrogênio podem ser removidos de água residuária sintética que utiliza filtros aeróbios e anaeróbios acoplados. Os filtros biológicos aerados com biofilmes vêm sendo aplicados na nitrificação de efluentes domésticos e industriais. A principal vantagem deste sistema é que o tratamento biológico e a separação dos sólidos são realizados no mesmo reator, para eliminar a necessidade de um decantador secundário. Esta tecnologia tem como consequência a redução do espaço requerido para o tratamento em relação a tecnologias mais convencionais, como os sistemas de lodo ativado (Akunna et al., 1994; Westerman et al., 2000).

Reatores com biofilmes vêm sendo utilizados em sistemas de desnitrificação e digestão anaeróbia combinadas, os quais permitem a formação de macro e microambientes, permitindo que diferentes bactérias envolvidas nas reações cresçam em zonas favoráveis ao seu metabolismo (Bernet et al., 2000).

Dessa forma, este trabalho tem como objetivos estudar a remoção de nitrogênio do efluente de uma indústria frigorífica utilizando biorreatores de fluxo ascendente e comparar a eficiência teórica do processo com relação à eficiência obtida experimentalmente.

Material e métodos

Sistema experimental

O sistema de reatores utilizados no experimento foi composto por dois reatores de fluxo contínuo operados em série: um reator anaeróbio híbrido, com uma zona anaeróbia e outra anóxica, conectado a um reator tipo filtro biológico de fluxo ascendente com aeração submersa, o qual possuía, ainda, um reciclo para o reator híbrido, conforme representado na Figura 1.

Os dois reatores foram construídos em vidro com 6 cm de diâmetro e 40 cm de altura, preenchidos com tubos corrugados de PVC de ½ polegada de diâmetro. Os reatores aeróbio e anaeróbio têm como volume útil 745 e 790 mL, respectivamente.

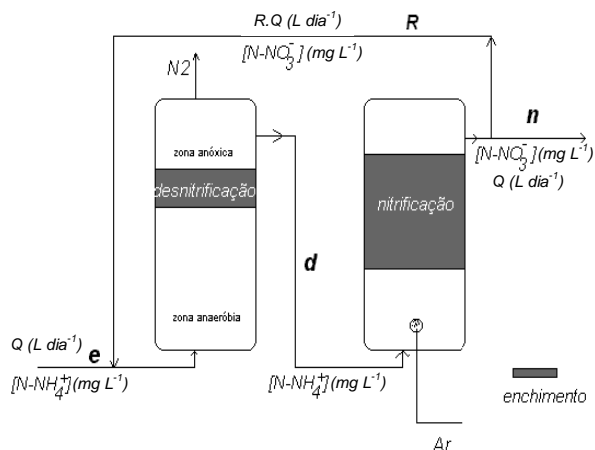


Figura 1. Esquema dos reatores de nitrificação e desnitrificação utilizados no experimento, em que: Q: vazão de alimentação (L dia⁻¹); R: razão de reciclo; e: entrada do sistema, d: saída do reator desnitrificante, n: saída do reator nitrificante.

A partida dos reatores foi realizada com os reatores em separado. O reator aeróbio foi inoculado com lodo proveniente de uma estação de tratamento de esgoto doméstico e alimentado com água residuária sintética contendo concentrações de N-NH₄⁺ que variaram de 30 a 150 mg L⁻¹. A alcalinidade foi fornecida em NaHCO₃ na relação de HCO₃⁻/N-NH₄⁺ igual a 8,62 g g⁻¹. Os macro e micronutrientes foram fornecidos de acordo com a Tabela 1. O pH do meio foi ajustado em torno de 7,0. Durante o período utilizado para a partida do reator, a vazão de alimentação foi aumentada, gradativamente, de 100 até 400 mL dia⁻¹.

O inóculo do reator híbrido foi oriundo da planta de tratamento anaeróbio de efluente de uma indústria processadora de aves e suínos. A alimentação foi realizada com meio sintético com concentrações N-NO₃⁻ variando de 50 a 150 mg L⁻¹ em fluxo contínuo. A DQO foi fornecida em ácido acético na relação DQO/N-NO₃⁻ igual a 7 g g⁻¹. Os macro e micronutrientes utilizados no meio de alimentação são os mesmos do meio de nitrificação e estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Concentrações de macro e micronutrientes utilizados nos meios sintéticos de alimentação dos reatores de nitrificação e de desnitrificação.

Componente	
Macronutrientes	
	mg L ⁻¹
KH ₂ PO ₄	74
MgSO ₄ ·7H ₂ O	23
CaCl ₂ ·2H ₂ O	16
Micronutrientes	
	μg L ⁻¹
FeCl ₃ ·4H ₂ O	800
CoCl ₂	435,2
MnCl ₂ ·4H ₂ O	200
CuSO ₄ ·5H ₂ O	15,2
ZnSO ₄ ·7H ₂ O	42,4
H ₃ BO ₃	20
Na ₂ SeO ₃ ·5H ₂ O	40
NiCl ₂ ·6H ₂ O	20
EDTA	400

Operação do sistema

Após o período utilizado para partida, os reatores foram conectados de acordo com a Figura 1. A alimentação do sistema foi realizada por uma bomba peristáltica, dotada de dois cabeçotes, proporcionando uma vazão de 475 mL dia⁻¹, com uma razão de reciclo de 1,8.

A água residuária utilizada na alimentação foi coletada da saída da primeira lagoa anaeróbia de uma planta de tratamento de efluentes de uma indústria processadora de aves e suínos, cuja caracterização físico-química encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Características físico-químicas da água residuária agroindustrial utilizada na alimentação dos reatores.

Componente	
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	163,74
N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	nd
N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	nd
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	614,48
pH	7,20
Alcalinidade (mg CaCO ₃ L ⁻¹)	780,85

*nd: não detectado.

Amostragens periódicas para as análises físico-químicas foram realizadas na entrada do sistema e nas saídas dos dois reatores.

Métodos analíticos

A demanda química de oxigênio (DQO) foi determinada pelo método do refluxo fechado de acordo com *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 1995). A determinação do pH foi realizada com o auxílio de um potenciômetro. O nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺) foi analisado pelo método colorimétrico de Nessler, segundo Vogel (1981). Nitrato e nitrito foram determinados por colorimetria utilizando kits de reagente *Permachem reagents*® (HACH®, 1996-2000). A alcalinidade foi determinada por titulação potenciométrica de acordo com *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 1995).

Cálculo da eficiência em remoção de nitrogênio

A eficiência na remoção de nitrogênio foi determinada de acordo com a Equação 1.

$$\text{Eficiência} = \frac{[N]_e - [N]_s}{[N]_e} \quad (1)$$

em que:

[N]_e: concentração de nitrogênio nas formas amoniacal, nitrato e nitrito na entrada do sistema de reatores (mg L⁻¹);

[N]_s: concentração de nitrogênio nas formas

amoniacal, nitrato e nitrito na saída do sistema de reatores (mg L⁻¹).

A eficiência de remoção de nitrogênio é dependente da razão de reciclo entre os reatores. Portanto, a eficiência teórica máxima para a razão de reciclo utilizada foi calculada a partir de um balanço de massa na configuração de reatores, representada pela Figura 1. As considerações realizadas foram: que o sistema opere em estado estacionário sem limitação de carbono e oxigênio, que ocorra 100% de nitrificação e desnitrificação nos reatores, que o nitrogênio incorporado em biomassa seja desprezível, e que todo o nitrogênio no meio de alimentação se encontre na forma de amônio.

De acordo com as hipóteses consideradas, os íons de amônio não sofrem alteração no reator anaeróbio. Assim, a Equação 2 representa o balanço de massa para o nitrogênio na forma de amônio no reator anaeróbio.

$$Q \cdot [N - NH_4^+]_e = (Q + R \cdot Q) \cdot [N - NH_4^+]_d \quad (2)$$

em que:

[N-NH₄⁺]: concentração de nitrogênio amoniacal (mg L⁻¹);

[N-NO₃⁻]: concentração de nitrogênio em nitrato (mg L⁻¹);

Q: vazão de alimentação (L dia⁻¹);

R: razão de reciclo;

e, d, n: entrada do sistema, saída do reator desnitrificante e saída do reator nitrificante, respectivamente (Figura 1).

A Equação 3 apresenta o balanço de massa para o nitrogênio no reator aeróbio.

$$(Q + R \cdot Q) \cdot [N - NH_4^+]_d = Q \cdot [N - NO_3^-]_n + R \cdot Q \cdot [N - NO_3^-]_n \quad (3)$$

A Equação 3 fornece a Equação 4.

$$[N - NH_4^+]_d = [N - NO_3^-]_n \quad (4)$$

Substituindo a Equação 4 na Equação 2, tem-se a Equação 5.

$$[N - NO_3^-]_n = \frac{[N - NH_4^+]_e}{1 + R} \quad (5)$$

A substituição da Equação 5 na Equação 1 fornece a Equação 6, a qual representa a eficiência teórica máxima na remoção de nitrogênio para a configuração do sistema de reatores da Figura 1.

$$\text{Eficiência} = \frac{R}{1+R} \quad (6)$$

Dessa forma, pode-se calcular a eficiência teórica em função da razão de reciclo entre os reatores, que se encontra representada na Figura 2. Pode-se verificar que, para a razão de reciclo utilizada no experimento ($R = 1,8$), a eficiência máxima teórica de remoção de nitrogênio será de 64,3%.

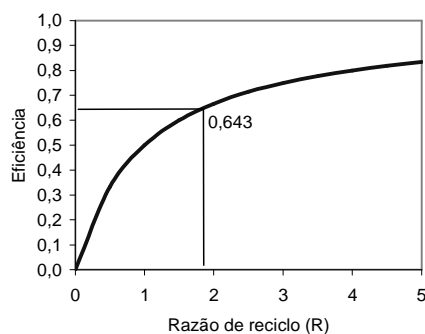


Figura 2. Eficiência teórica em função da razão de reciclo para o sistema de reatores de nitrificação e desnitrificação utilizado no experimento.

Resultados e discussão

Acompanhamento do sistema de reatores

Após a partida dos reatores, estes foram conectados e alimentados com água residuária oriunda de uma indústria frigorífica, sendo operados por um período de 78 dias. As Figuras 3 e 4 apresentam a evolução do nitrogênio na forma amoniacal e nas formas oxidadas, respectivamente, para a alimentação (entrada) e saída dos reatores aeróbio e anaeróbio. É importante salientar que a simbologia $N-NO_x^-$ representa a soma das concentrações de nitrogênio nas formas de nitrato e nitrito. Podem-se verificar consideráveis oscilações nas concentrações de $N-NH_4^+$ e $N-NO_x^-$ na entrada do sistema. Estas variações ocorrem em virtude da utilização de água residuária natural proveniente de um pré-tratamento anaeróbio.

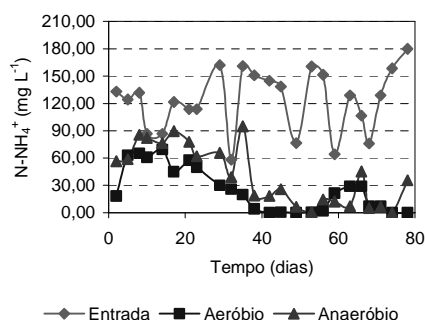


Figura 3. Evolução do nitrogênio amoniacal no sistema de reatores de nitrificação (aeróbio) e de desnitrificação (anaeróbio).

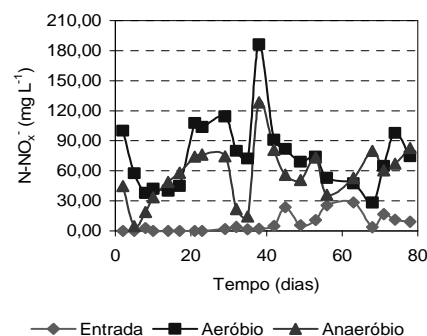


Figura 4. Evolução do nitrogênio na forma de nitrato e nitrito ($N-NO_x^-$) no sistema de reatores de nitrificação (aeróbio) e de desnitrificação (anaeróbio).

De acordo com a Figura 3, pode-se verificar a completa remoção de nitrogênio amoniacal no reator aeróbio ao final do período de operação. Os níveis baixos de $N-NH_4^+$, no reator anaeróbio, são devidos, principalmente, à vazão do reciclo proveniente do reator aeróbio (esquematisada na Figura 1), o que não exclui a possibilidade de incorporação em biomassa.

Observando-se a Figura 4, pode-se verificar que o desaparecimento de $N-NH_4^+$, no reator aeróbio, foi acompanhado da formação de $N-NO_x^-$, principalmente na forma de nitrato, ocorrendo uma nitrificação de aproximadamente 100% ao final do período de operação. Pode-se observar, ainda, que o reator anóxico (anaeróbio) não apresentou considerável remoção de $N-NO_x^-$. Tal fato pode ser explicado pela baixa relação $DQO/N-NO_x^-$ fornecida ao reator pela água residuária, ocorrendo uma limitação de carbono no processo de desnitrificação, o que sugere a necessidade de complementação com fonte externa de carbono. Outra hipótese seria o surgimento de inibição das bactérias desnitrificantes pela água residuária natural, fato este não ocorrido durante a partida do reator com meio sintético, onde a desnitrificação era de 100%. Foi detectado baixo consumo de matéria orgânica no reator (dados não-apresentados), sugerindo que a matéria orgânica consumida tenha sido apenas para o crescimento heterotrófico.

Pela Figura 4, pode-se verificar, ainda, que ocorreu redução em torno de 45% nos níveis de nitrogênio amoniacal já no reator anóxico (anaeróbio), independentemente da diluição da vazão de reciclo. A incorporação do nitrogênio em biomassa é insuficiente para explicar tal resultado. Uma possibilidade é a volatilização do $N-NH_4^+$ na forma de NH_3 pelo aumento do pH, que variou entre 7,7 e 8,3 ao final do período estudado.

Outra hipótese seria a oxidação anaeróbia de

amônio (Anammox), sugerida por alguns autores (Jetten *et al.*, 1999). O Anammox é um processo recentemente descoberto, realizado por organismos autotróficos em condições anaeróbias. Nesta reação, ocorre a oxidação dos íons amônio ao utilizar nitrito comoceptor final de elétrons. O produto desta reação, semelhantemente à desnitrificação, é o nitrogênio gasoso (N_2).

Avaliação da eficiência global do sistema

A partir da Figura 5, pode-se verificar a evolução da eficiência global na remoção de nitrogênio no sistema de reatores. A eficiência foi calculada de acordo com a Equação 1, em que $[N]_e$ e $[N]_s$ representam o somatório do nitrogênio nas formas $N-NH_4^+$ e $N-NO_x^-$ na alimentação e na saída do reator aeróbio (Figura1), respectivamente.

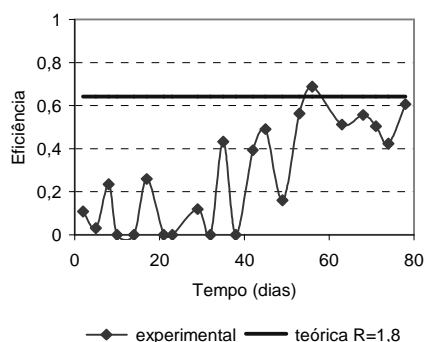


Figura 5. Eficiência global do sistema de reatores de nitrificação e de desnitrificação.

Aos 78 dias de operação, a eficiência global do sistema na remoção de nitrogênio era de 60%. Tal valor foi muito próximo ao valor máximo calculado teoricamente (64,3%) para a razão de reciclo estudada ($R = 1,8$), embora o reator anaeróbio não apresentasse uma considerável desnitrificação. Este resultado confirma o fato de que ocorre outra forma na remoção de nitrogênio, sugerindo novamente a perda de amônia na corrente gasosa, ou a oxidação anaeróbia de amônio já explicada anteriormente.

Conclusão

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que é possível a utilização de reatores do tipo filtro biológico de fluxo ascendente para a nitrificação da água residuária estudada. O reator anóxico não apresentou desempenho considerável na desnitrificação

das formas oxidadas de nitrogênio ($N-NO_x^-$) provenientes do reator aeróbio. Este resultado sugere que tenha ocorrido inibição da desnitrificação por componentes do efluente utilizado ou, mais provavelmente, falta de matéria orgânica biodegradável (DBO) que atua como doador de elétrons para redução do $N-NO_x^-$. A eficiência global de remoção de nitrogênio do sistema de reatores apresentou-se próxima ao valor máximo teórico calculado para a razão de reciclo estudada. Foi possível concluir, ainda, que a remoção de nitrogênio amoniacal não só ocorreu por nitrificação no reator aeróbio, mas também por outros processos, seja por volatilização da amônia no reator anaeróbio seja pela oxidação anaeróbia do íon amônio (Anammox).

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão de bolsas e financiamento da pesquisa.

Referências

- AKUNNA, J. *et al.* Combined organic carbon and complete nitrogen removal using anaerobic and aerobic upflow filters. *Water Sci. Technol.*, Oxford, v. 30, n. 12, p. 297-306, 1994.
- APHA *et al.* *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19th ed. Washington, D.C.: American Public Health Association, 1995.
- BERNET, N. *et al.* Combined anaerobic-aerobic SBR for the treatment of piggery wastewater. *Water Sci. Technol.*, Oxford, v. 34, n. 2, p. 611-619, 2000.
- EPA-Environmental Protection Agency. *Nitrogen control*. USA, set. 1993. (EPA/625/R-93/010).
- HACH procedure manual: DR/2010 spectrophotometer handbook. USA: HACH Company, 1996-2000.
- JETTEN, M.S. *et al.* The anaerobic oxidation of ammonium. *Fems Microbiol. Rev.*, Amsterdam, v. 22, n. 5, p. 421-437, 1998.
- VOGEL, A.I. *Análise inorgânica quantitativa*. 4. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 1981.
- WESTERMAN, P.W. *et al.* Upflow biological aerated filters for the treatment of flushed swine manure. *Bioresour. Technol.*, Essex, v. 74, n. 3, p. 181-190, 2000.

Received on June 13, 2007.

Accepted on March 28, 2008.