

II-143 - REMOÇÃO DE DQO E NITROGÊNIO TOTAL DE ESGOTO SANITÁRIO COMBINADO COM EFLUENTE DE RALF EM REATOR DE LEITO ESTRUTURADO COM AERAÇÃO INTERMITENTE

Ana Cláudia Wendling⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Nathanna Tessari Jenzura⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste. Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Ana Cláudia Barana⁽³⁾

Engenheira de Alimentos pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Mestre e Doutora em Agronomia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Pós Doutora em processos biológicos pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.

Endereço⁽¹⁾: Rua. José Antônio Primor, 93 - Uvaranas - Ponta Grossa - PR - CEP: 84031-346 - Brasil - Tel: (42) 3226-1761 - e-mail: ana_wendling@hotmail.com

RESUMO

A poluição dos corpos hídricos por efluentes ricos em matéria orgânica e nutrientes, induz ao consumo do oxigênio dissolvido e a eutrofização. As estações de tratamento de esgoto costumam utilizar processos biológicos para a remoção da matéria orgânica e de nitrogênio. Nesse sentido visando a remoção simultânea da Demanda Química de Oxigênio (DQO) e de Nitrogênio Total (NT) do esgoto sanitário, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de um reator de leito estruturado com aeração intermitente, com períodos de aeração de 60 minutos seguidos de 120 minutos sem aeração, a cada ciclo de 180 minutos. O reator foi operado com Tempo de Detenção Hidráulica (TDH) de 8 horas, alimentação contínua e razão de recirculação igual a 2. O reator foi alimentado com diferentes proporções de esgoto primário e secundário, ambos coletados na mesma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), as concentrações de cada parcela no afluente foram de 0%, 25%, 50%, 75% e 100%, totalizando 5 ensaios. Como meio suporte para a fixação dos microrganismos foram utilizados 13 cilindros de espuma de poliuretano dispostos verticalmente no reator. As concentrações de DQO do afluente variaram de 83mg.L⁻¹ a 200 mg.L⁻¹ e as de NTK entre 35mg.L⁻¹ e 64 mg.L⁻¹. A eficiência de remoção de DQO variou entre 76% e 91%. A eficiência de remoção de NT variou de 50% a 78%, sendo a melhor eficiência obtida com afluente composto apenas por efluente do Reator Anaeróbico de Leito Fluidizado (RALF), nesta condição o efluente apresentou DQO de 14 mg.L⁻¹, N-NH₄⁺ de 3 mg.L⁻¹, N-NO₃⁻ de 2 mg.L⁻¹ e N-NO₂⁻ de 3 mg.L⁻¹. Diante dos resultados foi possível concluir que o reator de leito estruturado com aeração intermitente foi eficiente para a remoção simultânea da matéria orgânica carbonácea e nitrogenada com afluente contendo uma mistura do esgoto bruto e efluente de RALF nas mais diferentes proporções.

PALAVRAS-CHAVE: Reator Biológico, Nitrificação, Desnitrificação, Espuma de Poliuretano.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a remoção do nitrogênio tem recebido especial atenção no desenvolvimento de sistemas de tratamento de efluentes, devido aos problemas de eutrofização dos corpos hídricos, e depleção do oxigênio dissolvido causados pelo lançamento de efluentes em corpos d'água. As ETEs (Estações de Tratamento de Esgoto) costumam ser eficientes na remoção de DQO (Demanda Química de Oxigênio), porém a maioria não são projetadas para a remoção de nutrientes (NETO, COSTA, 2011; SEIFI, FAZAELOPOOR, 2012).

Nos processos biológicos convencionais a remoção do nitrogênio acontece em ambientes separados pelo processo de nitrificação e desnitrificação, realizados por bactérias autotróficas e heterotróficas, respectivamente. Pesquisas recentes têm focado no estudo dos processos de nitrificação e desnitrificação simultânea, conhecido como SND (*Simultaneous Nitrification and Denitrification*), onde ambas as etapas ocorrem em um único meio. Esse sistema apresenta grandes vantagens em comparação ao convencional, como:

menor consumo de energia; redução do consumo de agentes alcalinos; simplicidade operacional e redução da área de construção (LI et al., 2015; MOURA et al., 2012; BARANA et al., 2013; SEIFI, FAZAELIPOOR, 2012; GUO et al., 2013).

Pesquisas como a de Moura et al. (2012), Barana et al. (2013), Wosiack et al. (2015), Santos et al. (2016) e Leick et al. (2017), têm demonstrado que reatores de leito estruturado, formados por suporte de espuma de poliuretano e aeração intermitente promovem a NDS (Nitrificação e Desnitrificação Simultânea), possibilitando a remoção concomitante de DQO e NT. Neste modelo de reator, a NDS acontece devido ao gradiente da concentração de oxigênio no biofilme. Nas camadas externas, onde a concentração de oxigênio é elevada, predominam bactérias autotróficas aeróbias nitrificantes, que vão consumir o N-NH_4^+ e transformar em NO_3^- . Nas camadas internas do biofilme, com a ausência de oxigênio, predominam bactérias facultativas heterotróficas desnitrificantes, que vão utilizar o NO_3^- como aceptor final de elétrons, e convertê-lo em N_2 (MUNCH et al., 1996, SEIFI; FAZAELIPOOR, 2012, ZENG et al., 2003).

Sendo assim a presente pesquisa visou avaliar o desempenho de um reator biológico de leito estruturado de fluxo contínuo e aeração intermitente, em escala de bancada, na remoção simultânea de DQO e nitrogênio total (NT), para afluentes em diferentes proporções de esgoto bruto e efluente de RALF, variando a concentração do volume em 0%, 25%, 50%, 75% e 100. A possível vantagem em utilizar a mistura é devida a diluição do esgoto bruto, uma vez que tende a diminuir a carga de matéria orgânica, de forma que possa vir a auxiliar no tratamento.

OBJETIVOS

O objetivo dessa pesquisa foi avaliar o desempenho de um reator de leito estruturado de fluxo contínuo e aeração intermitente, em escala de bancada, para a remoção concomitante de matéria orgânica e de nitrogênio total, para afluentes com diferentes proporções de esgoto bruto e efluente de RALF.

MATERIAIS E MÉTODOS

• REATOR E CONDIÇÕES OPERACIONAIS

Nesse estudo foi utilizado um reator construído em acrílico, com altura de 80,0 cm, diâmetro interno de 14,5 cm e volume útil de 8,4L. O reator foi preenchido com treze cilindros de espuma de poliuretano, cada um com 2cm de diâmetro e 70cm de altura, estes foram utilizados como suporte para aderência e crescimento da biomassa.

Este reator já estava em funcionamento a mais de 500 dias, tratando esgoto bruto (LEICK et al., 2017), sendo assim, já estava adaptado para as condições da pesquisa. A alimentação do reator foi contínua e a recirculação (Qr:Q) foi igual a 2. Com o auxílio de um aquecedor de aquário, o sistema foi mantido à $30 \pm 1^\circ\text{C}$. Para a aeração foram utilizados 3 compressores de ar de aquário, ligados a um temporizador, que promoveu a cada ciclo de 180 min, 60 min de aeração seguidos de 120 min sem aeração. O TDH utilizado foi de 8 horas, para atender à demanda das empresas de saneamento da cidade, que já utilizam esse TDH para seus RALFs. O esquema do reator é apresentado na Figura 1.

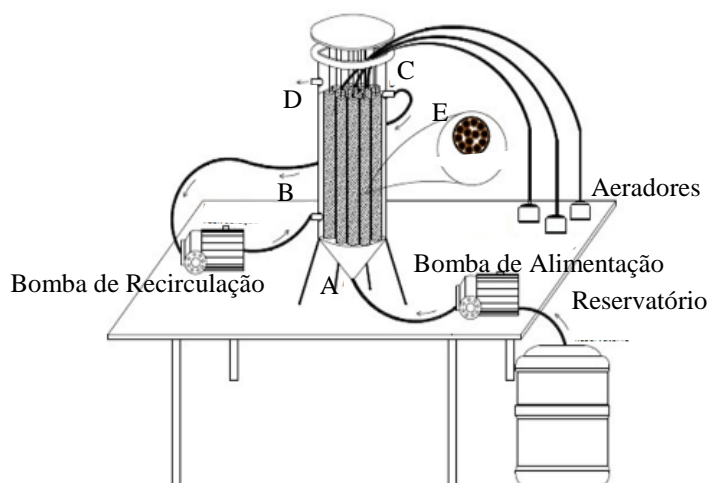


Figura 1. Esquema do reator (A. afluente, B. entrada recirculação, C. Saída recirculação, D. Efluente tratado, E. Corte Transversal).

Fonte: Autor.

• SUBSTRATO

A ETE onde os esgotos foram coletados atende à uma população de cerca de 100.000 habitantes, recebe esgoto predominantemente doméstico e tem vazão média, em dias secos, de 100L/s. Em períodos de chuva a vazão de esgoto ultrapassa os 200L/s. O sistema de tratamento da estação consiste em grade, caixa de areia, quatro RALFs, dispostos em paralelo, e uma lagoa facultativa.

O substrato utilizado na alimentação do reator foi formado por uma mistura contendo duas frações de esgoto sanitário: a primeira coletada após a etapa de tratamento primário, composto por grade e desarenador, denominado E1, e a segunda formada pelo efluente do tratamento secundário, um RALF, denominado E2. Ambas as frações foram coletadas na mesma ETE. Foram utilizadas as concentrações (v/v) de 0%, 25%, 50%, 75% e 100% de cada substrato, de forma que a somatória da mistura de esgoto bruto com o efluente de RALF fosse de 100%, o que resultou em 5 ensaios. Os pontos das coletas são apresentados nas Figuras 2, 3 e 4, que correspondem aos pontos da coleta do efluente do RALF, a ETE, e a coleta do esgoto bruto, na calha parshall, respectivamente.



Figura 2. Ponto de coleta do efluente RALF.
Fonte: Autor.



Figura 3. ETE.
Fonte: Google Maps (2016).



Figura 4. Calha Parshall
Fonte: Autor.

• ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Para a caracterização do afluente e efluente do reator foram monitorados os parâmetros: pH, alcalinidade, Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), nitrogênio amoniacal (N-NH_4^+), nitrogênio na forma de nitrito (N-NO_2^-), nitrogênio na forma de nitrato (N-NO_3^-) e DQO, conforme os métodos descritos no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005), e a alcalinidade foi determinada de acordo com o método proposto por Ripley et al. (1986). Todas as análises foram feitas em duplicata.

• CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DO REATOR

A eficiência do reator na remoção do nitrogênio total (equação 1), nitrificação (equação 2), desnitrificação (equação 3) e remoção de DQO (equação 4), foram calculadas para cada fase, utilizando-se as seguintes equações:

$$\text{Remoção do nitrogênio total (\%)} = \frac{\text{NTK}_a - \text{NTK}_e - \text{NO}_2^- - \text{NO}_3^-}{\text{NTK}_a} \times 100 \quad \text{equação (1)}$$

$$\text{Nitrificação (\%)} = \frac{\text{NTK}_a - \text{NTK}_e}{\text{NTK}_a} \times 100 \quad \text{equação (2)}$$

$$\text{Desnitrificação (\%)} = \frac{\text{NTK}_a - \text{NTK}_e - \text{NO}_2^- - \text{NO}_3^-}{\text{NTK}_a - \text{NTK}_e} \times 100 \quad \text{equação (3)}$$

$$\text{Remoção de DQO (\%)} = \frac{\text{DQO}_a - \text{DQO}_e}{\text{DQO}_a} \times 100 \quad \text{equação (4)}$$

Onde: NTKa - Nitrogênio Total Kjeldahl afluente, NTKe - Nitrogênio Total Kjeldahl efluente, NO_2^- - nitrogênio na forma de nitrito efluente, NO_3^- - nitrogênio na forma de nitrato efluente, DQOa - demanda química de oxigênio afluente, DQOe - demanda química de oxigênio efluente, todos em mg.L^{-1} .

• ANÁLISE ESTATÍSTICA

Todos os dados obtidos foram verificados quanto à normalidade pelo teste de Shapiro Wilk. Depois os resultados foram analisados estatisticamente por análises de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey ($P=0,05$), quando apresentaram diferenças significativas, utilizando o *software R* versão 3.2.2.

RESULTADOS OBTIDOS

Nesta pesquisa o reator foi operado por 190 dias, porém, o mesmo já vinha sendo utilizado em pesquisas anteriores para o tratamento de efluente da mesma ETE, dessa forma o reator já estava adaptado para o atual estudo. A Tabela 1 apresenta as médias de cada ensaio, e a eficiência do tratamento.

Tabela 1. Caracterização média do afluente e efluente de cada ensaio, e a eficiência na remoção de DQO, nitrificação, desnitrificação, remoção de NT.

Ensaio	E1/E2* (%)	Afluente (mg.L^{-1})			Efluente (mg.L^{-1})				
		NTK	N-NH ₄ ⁺	DQO	NTK	N-NH ₄ ⁺	N-NO ₂ ⁻	N-NO ₃ ⁻	DQO
1	0/100	37±8	32±5	83±10	6 ^c ±6	3 ^b ±1	3 ^{bc} ±1	2±0.12	14±5
2	25/75	35±7	27±4	147±17	8 ^{bc} ±6	6 ^b ±4	5 ^a ±3	2±0.10	36±27
3	50/50	36±2	32±3	134±52	12 ^{bc} ±1	10 ^b ±2	4 ^{ab} ±1	2±0.04	18±9
4	75/25	41±11	27±8	168±12	13 ^b ±9	4 ^b ±4	2 ^c ±1	2±0.06	16±8
5	100/0	64±19	46±8	200±74	27 ^a ±18	22 ^a ±12	5 ^a ±2	2±0.13	25±13
Eficiência de remoção									
Ensaio	E1/E2* (%)	DQO (%)	Desnitrificação (%)	Nitrificação (%)		Remoção de NT (%)			
1	0/100	83 ^a	86 ^a ±5	85 ^a ±11		78 ^a ±11			
2	25/75	76 ^a	74 ^b ±18	79 ^{ab} ±11		63 ^b ±16			
3	50/50	86 ^a	76 ^{ab} ±4	68 ^{bc} ±3		56 ^b ±4			
4	75/25	91 ^a	86 ^{ab} ±14	70 ^{bc} ±17		64 ^b ±18			
5	100/0	87 ^a	83 ^{ab} ±11	57 ^c ±15		50 ^b ±15			

Os resultados seguidos de letras iguais, na coluna, não diferem significativamente entre si, pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$).

*E1/E2: proporção entre esgoto primário e esgoto secundário.

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

• DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO (DQO)

A concentração de DQO afluente variou entre os ensaios. Esse fato se justifica não só pela diferença da concentração das frações afluente dos ensaios, mas também por outras variáveis que influenciam nas características do esgoto sanitário, como: clima, períodos de chuva, dias e horários da coleta.

Independente da concentração, afluente, de matéria orgânica (MO), a eficiência mínima de remoção de DQO foi superior a 75%, para todos os ensaios. A elevada eficiência de remoção de DQO em todos os ensaios se deve ao fato de que a matéria orgânica carbonácea, neste tipo de reator, é removida tanto nos períodos aeróbios, por microrganismos heterotróficos aeróbios, quanto nos períodos anóxicos, por bactérias desnitrificantes facultativas também heterotróficas (CHIU et al., 2007, SCHMIDT et al., 2003).

• REMOÇÃO DE NITROGÊNIO

A eficiência na remoção de NT variou entre 50% e 78%, sendo que o ensaio 1 apresentou maior remoção de NT e, também, melhor eficiência de nitrificação, de 85%, assim como a menor remoção de NT, 50%, aconteceu no 5º ensaio, com a menor eficiência de nitrificação, de 57%, enquanto que a desnitrificação apresentou bons resultados em todos os ensaios. Diante destes resultados é possível supor que a remoção de NT está diretamente relacionada à nitrificação, indicando ser essa a etapa limitante do processo.

O afluente do ensaio 1, apresentou a menor DQO de entrada, 83 mg.L⁻¹, entre todos os ensaios, por ser composto apenas por efluente de RALF. Na presença de DQO e oxigênio bactérias heterotróficas aeróbias competem com as nitrificantes por esse gás. Como as heterotróficas apresentam maior eficiência energética que as autotróficas nitrificantes, acabam prevalecendo no ambiente (SCHMDT et al., 2003, DING et al., 2012). Dessa forma, pode-se supor que no ensaio 1, com menor DQO afluente, pode ter ocorrido menor desenvolvimento de bactérias heterotróficas aeróbias, resultando em saldo de oxigênio para crescimento das autotróficas nitrificantes, o que justifica a maior taxa de nitrificação deste ensaio. O 5º ensaio, recebeu como afluente apenas esgoto primário, portanto maior DQO, 200 mg.L⁻¹, este apresentou a menor eficiência de nitrificação, devido ao aumento da DQO afluente, que provavelmente acarretou no aumento da população dos microrganismos heterotróficos aeróbios em relação aos nitrificantes autotróficos, que não tiveram espaço para se desenvolver, inibindo a oxidação da amônia

Quando se trata de desnitrificação, observa-se que o ensaio 1 apresentou a melhor eficiência, mesmo contendo a menor concentração de DQO por ser composto somente por efluente de RALF. Este por ser um efluente já tratado o carbono presente é de difícil degradação, o que, provavelmente garantiu carbono para todo o processo. Her e Huang (1995), estudaram diferentes tipos de fontes de carbono e concluíram que a eficiência da desnitrificação é influenciada pelas fontes de carbono utilizadas. Para glicose, sacarose e etanol, que são compostos simples, foi observado que a DQO afluente seria suficiente para garantir elétrons para desnitrificação, ou seja, todo o NTK seria removido sem a adição de uma fonte externa de carbono, já para metanol e acetato, que são compostos mais complexos, há déficit de doadores de elétrons para a desnitrificação (SANTOS et al., 2016).

CONCLUSÃO

Dos resultados apresentados nesse trabalho conclui-se que o reator de leito estruturado com aeração intermitente, possibilitou a remoção concomitante da matéria orgânica carbonácea e nitrogenada com afluente contendo uma mistura do esgoto bruto e efluente de RALF nas mais diferentes proporções.

Os resultados de DQO obtidos no efluente variaram de 14 mg.L⁻¹ a 36 mg.L⁻¹ e não houve diferença estatística significativa na remoção de DQO entre os diferentes ensaios, com diferentes concentrações de esgoto bruto e efluente de RALF.

A eficiência da nitrificação foi diretamente influenciada de maneira negativa pela concentração de esgoto bruto no afluente. Com afluente composto apenas por esgoto bruto, a eficiência foi de 57%, já com afluente composto apenas por efluente de RALF, a eficiência de nitrificação aumentou para 85%.

A eficiência de desnitrificação não aparentou sofrer influência das diferentes composições dos afluentes estudados, com eficiência de desnitrificação superior a 70% em todos os ensaios.

A menor eficiência na remoção de NT, de 50%, foi obtida no ensaio 5, cujo afluente era composto apenas por esgoto bruto. A melhor eficiência de remoção de NT foi no ensaio 1, com 78% de eficiência, onde a alimentação do reator era feita somente com efluente de RALF, e a nitrificação foi o fator limitante para a remoção de NT. Observa-se aqui que as diferentes composições afluente interferiram no processo de remoção de NT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. *American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
2. BARANA, A. C.; LOPES, D.D.; MARTINS, T.H.; POZZI, E.; DAMIANOVIC, M.H.R.Z.; DEL NERY, V.; FORESTI, E. Nitrogen and organic matter removal in an intermittently aerated fixed-bed reactor for post-treatment of anaerobic effluent from a slaughterhouse wastewater treatment plant. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 1, n. 3, p.453-459, set. 2013.
3. CHIU, Y.; LEE, L.; CHANG, C.; CHAO, A. C. Control of carbon and ammonium ratio for simultaneous nitrification and denitrification in a sequencing batch bioreactor. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v.59, p.1-7, 2007.
4. DING, Y.; SONG, X.; WANG, Y.; YAN, D. Effects of dissolved oxygen and influent COD/N ratios on nitrogen removal in horizontal subsurface flow constructed wetland. *Ecological engineering*, v. 46, p. 107-111, 2012.
5. GUO, J.; ZHANG, L.; CHEN, W.; MA, F.; LIU, H.; TIAN, Y. The regulation and control strategies of a sequencing batch reactor for simultaneous nitrification and denitrification at different temperatures. *Bioresource Technology*, v. 133, p. 59-67, 2013.
6. HER, J.; HUANG, J. Influências da fonte de carbono e relação C / N sobre desnitrificação com nitratos / nitritos e descoberta de carbono. *Tecnologia Bioresource*, v. 54, n. 1, p.45-51, 1995.
7. LEICK, S. A.; OLIVEIRA, J.G.B.; ANTUNES, K.; LOPES, D.D.; BARANA, A.C. Effect of aeration and recirculation in the removal of nitrogen and chemical oxygen demand from sanitary sewage in a structured bed reactor. *Revista Engenharia Agrícola*, v.37, n. 6, 2017.
8. LI, C.; YANG, J.; WANG, X.; WANG, E.; LI, B.; HE, R.; YUAN, H. Removal of nitrogen by heterotrophic nitrification-aerobic denitrification of a phosphate accumulating bacterium *Pseudomonas stutzeri* YG-24. *Bioresource Technology*, v.182, p.18-25, 2015.
9. MOURA, R. B.; DAMIANOVIC, M. H. R. Z.; FORESTI, E. Nitrogen and carbon removal from synthetic wastewater in a vertical structured-bed reactor under intermittent aeration. *Journal of Environmental Management*, [s.l.], v. 98, p.163-167. 2012.
10. MUNCH, E. V.; LANT, P.; KELLER, J. Simultaneous nitrification and denitrification in 0bench-scale sequencing batch reactors. *Water Research*. v.30, n.2, p.277-284, 1996.
11. NETO, L. G. L.; COSTA, R. H. R. da. Tratamento de esgoto sanitário em reator híbrido em bateladas sequenciais: eficiência e estabilidade na remoção de matéria orgânica e nutrientes (N, P). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 4, p.411-420. 2011.
12. RIPLEY, L.E.; BOYLE, W.C.; CONVERSE, J.C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strenght wastes. *Journal of Water Pollution Control Federation*, v. 58, n. 5, p.406-411, 1986.
13. SANTOS, C. E.D.; MOURA, R. B.; DAMIANOVIC, M. H.R.Z.; FORESTI, E. Influence of COD/N ratio and carbon source on nitrogen removal in a structured-bed reactor subjected to recirculation and intermittent aeration (SBRRIA). *Journal of Environmental Management*, v. 166, p. 519-524, 2016.
14. SCHMIDT, I.; SLIEKERS, O.; SCHMID, M.; BOCK, E.; FUERST, J.; KUENEN, J. G.; JETTEN, M. S. M.; STROUS, M. New concepts of microbial treatment processes for the nitrogen removal in wastewater. *FEMS Microbiology Reviews*, v.27, p. 481-492, 2003.
15. SEIFI, M.; FAZAEIPOOR, M. H. Modeling simultaneous nitrification and denitrification (SND) in a fluidized bed biofilm reactor. *Applied Mathematical Modelling*, v.36, n.11, p.5603-5613, 2012.
16. WOSIACK, P. A.; LOPES, D. D.; DAMIANOVIC, M. H. R. Z.; FORESTI, E.; GRANATO, D.; BARANA, A. C. Removal of COD and nitrogen from animal food plant wastewater in an intermittently-aerated structured-bed reactor. *Journal of Environmental Management*, v.154, p.145-150, 2015.
17. ZENG, R. J.; LEMAIRE, R.; YUAN, Z.; KELLER, J. Simultaneous nitrification denitrification and phosphorus removal in a lab-scale sequencing batch reactor. *Biotechnology and Bioengineering*, v.84, p.170-178, 2003.