



II-159 – COMPARAÇÃO DE SISTEMAS DE REATOR EM BATELADA SEQUENCIAL (RBS) COM DIFERENTES CICLOS OPERACIONAIS NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Israel Nunes Henrique⁽¹⁾

Químico Industrial pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente pelo PRODEMA (UEPB/UEPB). Doutorando em Recursos Naturais na CTRN/UEFCG.

José Tavares de Sousa

Engenheiro Químico pela Universidade Federal da Paraíba. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UEFCG). Doutor em Hidráulica e Saneamento na EESC/USP. Professor da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Beatriz Susana Ovruski de Ceballos

Bioquímica pela Universidade Nacional de Tucumán. Mestre em Microbiologia e Imunologia pela Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP/EPM). Doutora em Ciências (Microbiologia Ambiental) na USP. Professora da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Danielle Patrício Brasil

Bióloga pela Universidade Estadual da Paraíba. Mestranda em Ciências e Tecnologia Ambiental na Universidade Estadual da Paraíba (MCTA/UEPB).

Lincoln Soares Mota

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Estadual da Paraíba – PIBIC/UEPB/CNPq.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Assis Chateaubriand, 626 – Campina Grande - Paraíba - PB - CEP: 58105-420 - Brasil - Tel: (83) 33225307 - e-mail: israelnunes@yahoo.com.br

RESUMO

O estudo da remoção de material orgânico e nitrogênio foram realizados em reatores de bateladas sequenciais (RBS) construídos em vidro, tratando como afluente esgoto bruto doméstico. Os sistemas foram alimentados com carga orgânica média aplicada de $0,433 \text{ KgDQO.m}^{-3}.\text{dia}^{-1}$ e nitrogenada de $0,046 \text{ KgNTK.m}^{-3}.\text{dia}^{-1}$. Foram utilizados dois sistemas RBS, com variações de ciclos operacionais: RBS1 operando com 3 ciclos. dia^{-1} (cada ciclo com 8 horas); RBS2 operando com 4 ciclos. dia^{-1} (cada ciclo com 6 horas). A finalidade do estudo foi de verificar a influência do tratamento quanto ao número de ciclos aplicados por dias. Os sistemas mostraram boa remoção de DQO, NTK e SST, não apresentando diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade.

PALAVRAS-CHAVE: Reator de Bateladas Sequenciais, Ciclo operacional, Remoção de matéria orgânica e nitrogenada.

INTRODUÇÃO

O reator de bateladas sequenciais é uma variante do sistema de lodo ativado convencional, pois incorpora todas as unidades do processo convencional em apenas um reator. Caracteriza-se pela adaptabilidade à automação do processo, flexibilidade do tratamento, impossibilidade de ocorrência de curtos-circuitos hidráulicos e a possibilidade de retenção do líquido até que seja atingido o grau de tratamento desejado.

Os processos biológicos para a remoção de nitrogênio são sucedidos pela nitrificação e desnitrificação em reatores aeróbios e anóxicos, respectivamente. O nitrogênio amoniacal é oxidado a nitrato na fase aeróbia e posteriormente reduzido na fase anóxica com o auxílio de fonte exógena de carbono. A integração dos processos nitrificantes e desnitrificantes em um único reator tornam o processo atraente, tendo em vista a diminuição de custos para implantação de mais sistemas integrados.

Irvine e Bush (1979) descreveram o RBS e sugeriram uso de terminologia uniforme, ao demonstrar que era possível adaptar sistemas contínuos em descontínuos, com expressivo ganho de eficiência, economia de energia e baixos custos operacionais desde que fosse introduzido o controle eletrônico nas diversas operações repetitivas.

O tratamento de águas residuárias em reator em batelada sequencial tem despertado interesse, devido às pequenas áreas ocupadas pelas unidades de tratamento, redução de custos em relação aos processos contínuos e possibilidade de remoção conjunta de matéria carbonácea e dos nutrientes nitrogênio e fósforo, este nas suas várias formas, em um único ciclo de operação (van Loosdrecht; Jetten, 1998).

Considerando a necessidade de otimizar o processo de remoção de material carbonáceo e nitrogenado é importante estabelecer o tempo ótimo de reação e a concentração ideal de oxigenação, para que o processo economize tempo e não seja oneroso.

Este trabalho trata de uma investigação experimental que teve como objetivo comparar o desempenho de dois reatores em bateladas sequenciais variando os ciclos operacionais, com a finalidade de nitrificar e desnitrificar no mesmo reator, usando a fonte de carbono interna.

MATERIAIS E MÉTODOS

Localização experimental

O experimento foi monitorado durante o período de março a junho de 2008, e foi instalado na Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES) localizada em área pertencente à Companhia de Águas e Esgotos do Estado da Paraíba (CAGEPA), no município de Campina Grande – PB, com coordenadas geográficas de 07° 14' 22''S e 35° 53'05''W e altitude de 550 m, e onde está instalado o laboratório do grupo de Pesquisa do Programa em Saneamento Básico (PROSAB).

Foram operados dois sistemas aeróbios em escala piloto com as mesmas dimensões, com configuração em bateladas sequenciais (RBS). Os reatores foram construídos em vidro, na forma de paralelepípedo, com 20cm de comprimento, 20cm de largura e 60cm de altura, com volume útil de 16,8 litros (Figura 1).

Ambos os sistemas trataram o mesmo volume de esgoto por ciclo, correspondente a 8,4L.ciclo⁻¹.

O RBS1 foi operado com 3 ciclos.dia⁻¹ com duração de 8 horas cada, enquanto que o RBS2 operou com 4 ciclos.dia⁻¹ com duração de 6 horas cada.

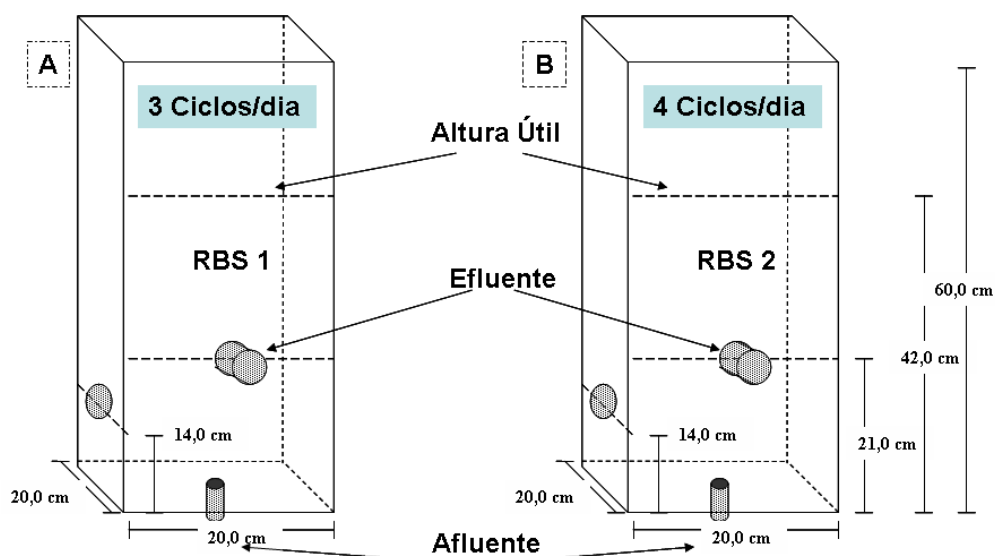


FIGURA 1. Dimensão dos RBSs: (A) Reator operado com 3 ciclos.dia⁻¹; (B) Reator operado com 4 ciclos.dia⁻¹

Ciclos operacionais

Ambos os reatores possuíam ciclos operacionais com configurações diferentes controlados por temporizadores analógicos. As configurações operacionais são apresentadas na Tabela 1.



TABELA 1. Cronograma aplicado aos dois ciclos estudados durante a fase experimental

RBS 1		RBS 2	
Tempo (h)	Fase	Tempo (h)	Fase
0,25	Alimentação ¹	0,25	Alimentação ³
1,50	Anaeróbia (Agitação Mecânica)	2,25	Anaeróbia (Agitação Mecânica)
1,75	Aeróbia (Agitação Mecânica)	2,50	Aeróbia (Agitação Mecânica)
1,75	Anóxica/Anaeróbia (Agitação Mecânica) ²	0,50	Decantação
1,75	Aeração (Agitação Mecânica)	0,25	Descarga
0,50	Decantação	0,25	Ajuste
0,25	Descarga		
0,25	Ajuste		
8,00	Tempo total do ciclo	6,00	Tempo total do ciclo

¹Nesse momento apenas ½ da alimentação é fornecida (4,2L)

²É fornecida a segunda parte da alimentação (4,2L)

³Toda a alimentação é fornecida (8,4L)

A finalidade de atribuir duas etapas de alimentação no RBS1 foi de promover a desnitrificação do nitrato produzido na primeira etapa de alimentação, com a DQO fornecida pela segunda etapa de alimentação.

A Tabela 2 mostra alguns parâmetros operacionais importantes utilizados durante a fase experimental, para os dois sistemas em bateladas sequenciais.

TABELA 2. Parâmetros operacionais utilizados durante a fase experimental

Parâmetros	Valor
Oxigênio dissolvido (mg OD.L ⁻¹)	2,2 – 3,0
Idade de Lodo - IL (dia)	10
Carga orgânica média aplicada (KgDQO.m ⁻³ .dia ⁻¹)	0,433
Carga nitrogenada média aplicada (KgNTK.m ⁻³ .dia ⁻¹)	0,046

As análises físicas e químicas realizadas seguiram às recomendações preconizadas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 1998). As variáveis analisadas durante todo o monitoramento foram: pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e suas frações, fósforo total (Ptotal), ortofosfato (P-PO₄³⁻), Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), N-amoniaco (N-NH₄⁺) e nitrato (N-NO₃⁻).

As determinações de alcalinidade e ácidos graxos voláteis obedeceram ao método Kapp (1994) apud Buchauer (1998).

RESULTADOS

Na Tabela 3 são apresentados alguns valores médios das análises físicas e químicas realizadas durante a fase experimental.

Os sistemas estudados não apresentaram variações de pH e Temperatura que pudessem comprometer ou influenciar de forma significativa o processo de tratamento aplicado, apresentando valores próximos de pH na faixa de 7,5. A temperatura se manteve em torno de 25°C para o esgoto bruto (EB-afluente) e 26°C para os efluentes do RBS1 e RBS2.

Os reatores foram configurados para favorecer a remoção de matéria orgânica e nitrogênio, portanto, em ambos os sistemas (RBS1 e RBS2) não foram verificadas grandes remoções de fósforo (Tabela3).

A eficiência de remoção de sólidos em suspensão foi de 86% para ambos os sistemas, RBS1 e RBS2, ficando abaixo dos dados esperados (90%), conforme referenciado por van Haandel & Marais (1999) e Metcalf & Eddy, 2003. Convencionalmente a remoção de sólidos em suspensão depende de uma boa sedimentabilidade do lodo. Esses valores podem estar relacionados a oscilações da concentração de sólidos em suspensão no licor misto.



A sedimentação ocorre pela ação das forças que agem sobre o conjunto de flocos interligados e não sobre cada floco individualmente. Os flocos interligados sedimentam com a mesma velocidade. Para isso a concentração mínima de sólidos suspensos no licor misto deve ser entre 500 e 1000mg.L⁻¹, sendo que abaixo deste valor os flocos tendem a sedimentar individualmente, modificando a qualidade do efluente final (van Haandel; Marais, 1999).

TABELA 3. Características físicas e químicas do esgoto bruto e dos efluentes dos reatores

Parâmetro		EB	RBS1	RBS2
pH	Média	7,46	7,54	7,43
	Mínimo	6,92	6,85	6,97
	Máximo	8,10	8,49	8,01
Temperatura (°C)	Média	24,8	26,1	26,3
	Mínimo	21,7	23,1	23,2
	Máximo	26,9	29,2	29,7
Fósforo Total (mgP.L ⁻¹)	Média	6,95	5,63	5,52
	Mínimo	3,07	3,44	2,63
	Máximo	12,63	9,56	9,13
Ortofosfato (mgP-PO ₄ ³⁻ .L ⁻¹)	Média	5,57	5,20	5,02
	Mínimo	2,78	3,23	2,32
	Máximo	10,47	9,48	8,91
SST (mg.L ⁻¹)	Média	144	21	22
	Mínimo	27	5	12
	Máximo	404	25	26
SSV (mg.L ⁻¹)	Média	117	15	14
	Mínimo	45	6	8
	Máximo	382	26	22

A Figura 2 fornece uma melhor visualização da distribuição dos dados de concentração da DQO obtida durante a fase experimental. Os dados mostram que para um intervalo de confiança de 95% a concentração média no EB foi de 433 mgDQO.L⁻¹, mostrando que 50% dos dados estiveram entre 390 e 494mgDQO.L⁻¹, com intervalo interquartil (d) de 104mgDQO.L⁻¹.

Os efluentes de RBS1 e RBS2 apresentaram concentrações médias de 61 e 63mgDQO.L⁻¹, respectivamente. Os valores dos quartis (Q1 e Q3) para o RBS1 foram, 38 e 67mgDQO.L⁻¹, e para o RBS2 foram 34 e 85mgDQO.L⁻¹, apresentando no primeiro reator menor variação dos resultados (RBS1: d= 28,3mgDQO.L⁻¹; RBS2: d= 50,6mgDQO.L⁻¹). Esse resultados indicam que o sistema RBS1, operado com 3 ciclos.dia⁻¹ apresenta maior estabilidade.

As eficiências de remoção de DQO dos sistemas RBS1 e RBS2 foram de aproximadamente 86 e 85%, respectivamente. A análise de ANOVA não mostrou diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade. Mahvi, et al., (2004) obtiveram 94% de remoção de DQO tratando esgoto doméstico em sistema RBS com ciclos de 6 horas, atribuindo cerca de 50% do tempo total do ciclo para aeração.

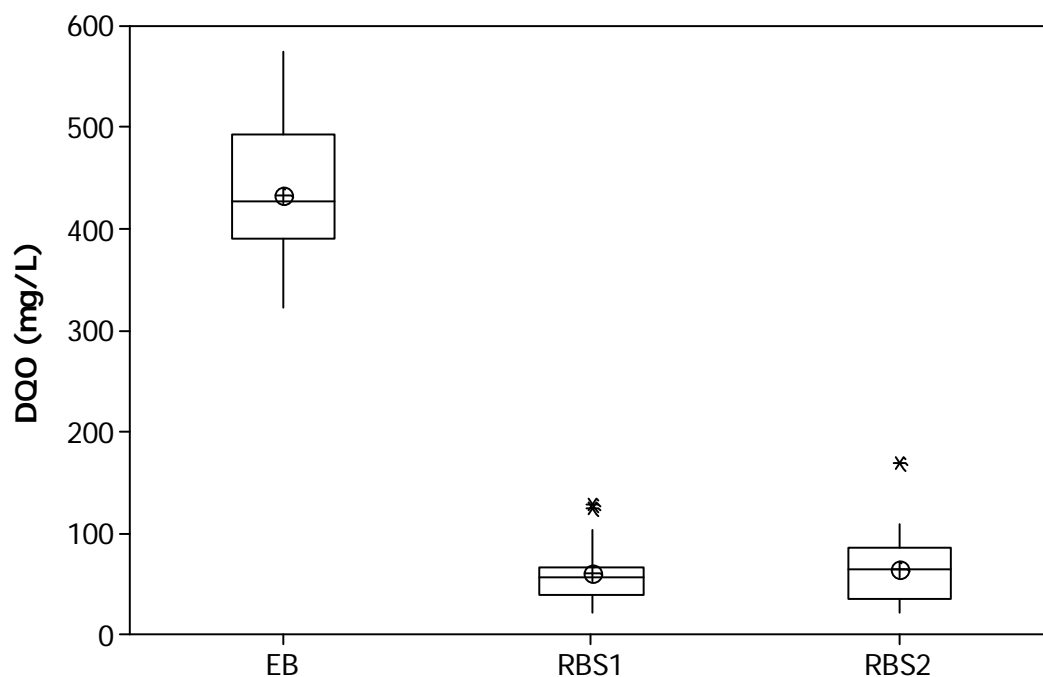


FIGURA 2. Concentrações da DQO afluyente (EB) e efluentes (RBS1 e RBS2) durante a fase experimental

A alcalinidade total foi verificada buscando deduzir a concentração média teórica de nitrato, através do seu consumo. A Figura 3 mostra a distribuição dos dados de alcalinidade do afluyente (EB) e dos efluentes. Observa-se que os valores da média e da mediana de EB são iguais ($390\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$), representando valores com distribuição normal. A eficiência de remoção de DQO em ambos os sistemas (RBS1 e RBS2) não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade.

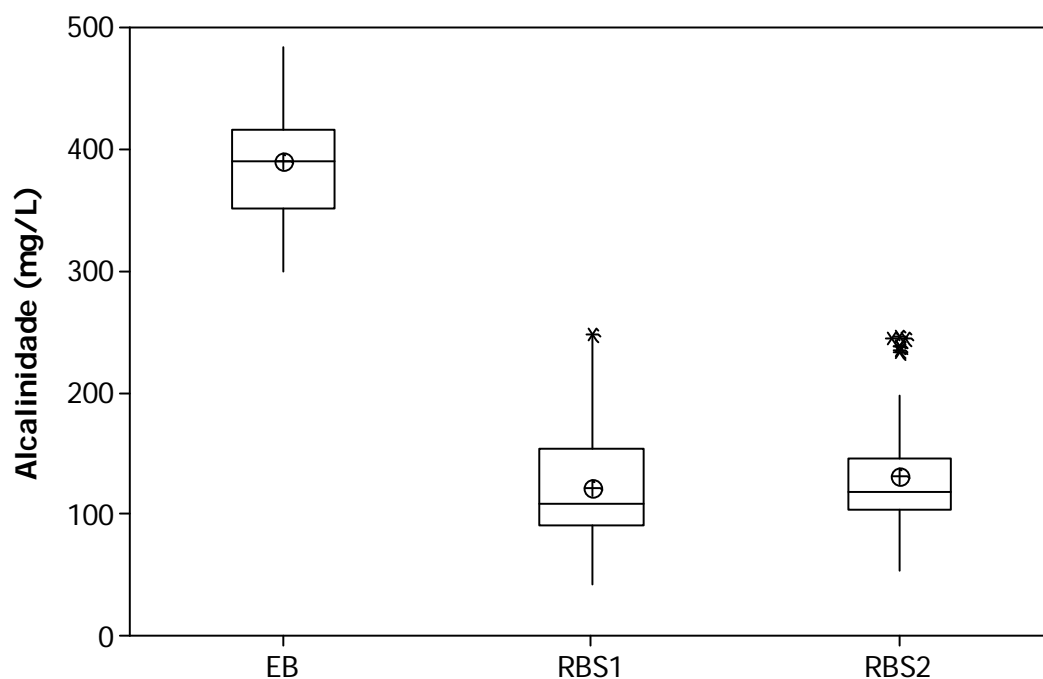


FIGURA 3. Concentrações da alcalinidade afluyente (EB) e efluentes (RBS1 e EBS2) durante a fase experimental



O efeito da amonificação, nitrificação e desnitrificação sobre a alcalinidade pode ser deduzido por simples relação estequiométrica (van Haandel e Marais, 1999). No processo de amonificação há produção de alcalinidade ou 50g por mol de amônia (14g N) amonificado; no processo de nitrificação há consumo de alcalinidade de $2 \times 50 = 100\text{g CaCO}_3$ por mol N (14g) e no processo de desnitrificação produz-se 50g CaCO_3 por mol N. As variações da alcalinidade podem ser expressas como:

$$\begin{aligned} (\Delta \text{Alc}/\Delta \text{N})_{\text{amonificado}} &= 50/14 = \mathbf{3,57 \text{ mgCaCO}_3.\text{mg.N}^{-1}} & (a) \\ (\Delta \text{Alc}/\Delta \text{N})_{\text{nitrificação}} &= -50/14 = \mathbf{-7,14 \text{ mgCaCO}_3.\text{mg.N}^{-1}} & (b) \\ (\Delta \text{Alc}/\Delta \text{N})_{\text{desnitrificação}} &= 50/14 = \mathbf{3,57 \text{ mgCaCO}_3.\text{mg.N}^{-1}} & (c) \end{aligned}$$

O consumo médio de alcalinidade no RBS1 foi de $264\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$, correspondendo a uma concentração teórica de nitrato de $37\text{mgN-NO}_3.\text{L}^{-1}$; no RBS2 o nitrato teórico foi de $36\text{mgN-NO}_3.\text{L}^{-1}$, com consumo médio de alcalinidade de $257\text{mgCaCO}_3.\text{L}^{-1}$.

O sistema RBS2 apresentou menor variabilidade dos valores de alcalinidade, no entanto, o mesmo apresentou diversos valores discrepantes (outliners), que fogem do intervalo de confiança de 95%.

A concentração média de nitrato no efluente de RBS1 foi de 24mg.L^{-1} , valor um pouco superior ao encontrado no efluente do RBS2, de aproximadamente 20mg.L^{-1} , para valores com intervalo de confiança de 95% (Figura 4).

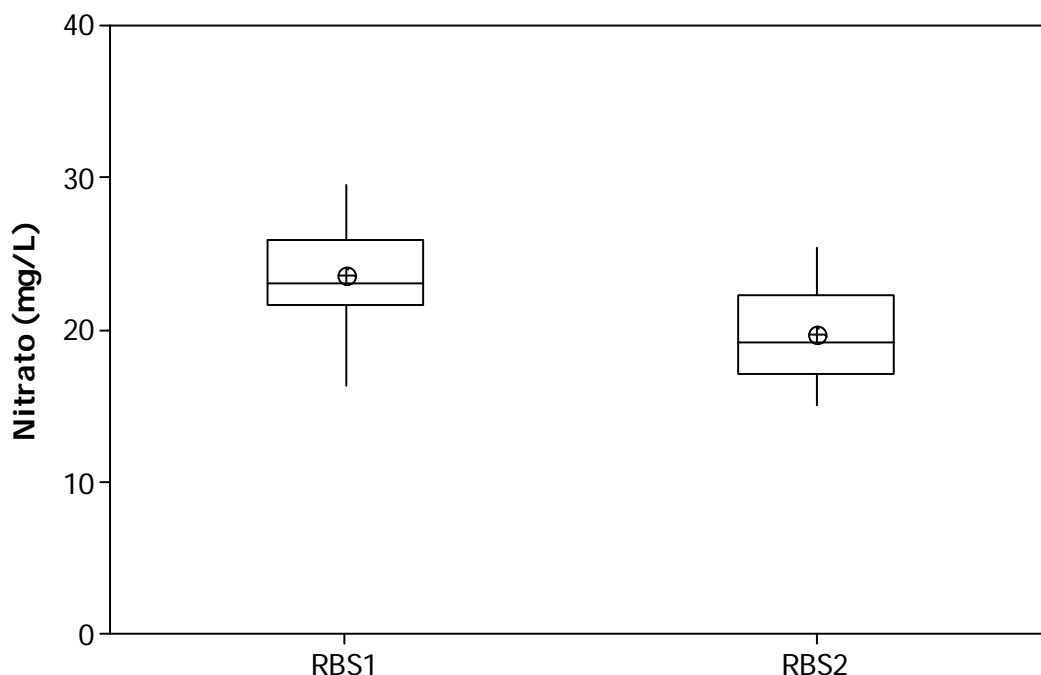
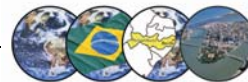


FIGURA 4. Concentração de NO_3^- nos efluentes dos sistemas estudados

Ainda na Figura 4, os valores dos quartis (Q1 e Q3) para o RBS1 foram, respectivamente 22 e $26\text{mgN-NO}_3.\text{L}^{-1}$, e para o RBS2 foram 17 e $22,3\text{mgN-NO}_3.\text{L}^{-1}$, apresentando variação de resultados para o RBS1 ($d=4,3\text{mgN-NO}_3.\text{L}^{-1}$), e para o RBS2 ($d=5,25\text{mgN-NO}_3.\text{L}^{-1}$). Os dados mostram que o sistema RBS1, operando com 3 ciclos. dia^{-1} apresentou menor variabilidade quanto as concentrações finais de N-NO_3^- .

Houve diferença significativa ao nível de 5% de probabilidade para as concentrações de nitrato nos efluentes finais de RBS1 e RBS2 (ANOVA).

A concentração de NTK no EB durante a fase experimental mostra que 50% dos dados variaram entre 37 e 53mgNTK.L^{-1} com concentração média de 46mgNTK.L^{-1} (Figura 5), para um nível de significância de 95%.



Os sistemas apresentaram resultados similares para o RBS1, com valores de quartis (Q1 e Q3) de 2,1 e 5,7 mgNTK.L⁻¹, e para o RBS2 de 2,3 e 5,8mgNTK.L⁻¹, com ambos sistemas apresentando amplitude interquartil de 3,5mgNTK.L⁻¹.

O percentual de remoção do material nitrogenado nos sistema RBS1 e RBS2 foi de aproximadamente 91 e 90%, respectivamente.

Obaja, et al., (2003) operando um sistema RBS tratando efluente de alta carga orgânica e nitrogenada, obtiveram remoção de 99,7% de nitrogênio. Mahvi, et al., (2004) variando o tempo operacional (6 e 12 horas) em reatores em batelada obteve remoção de nitrogênio variando entre 69–85%, tratando esgoto doméstico.

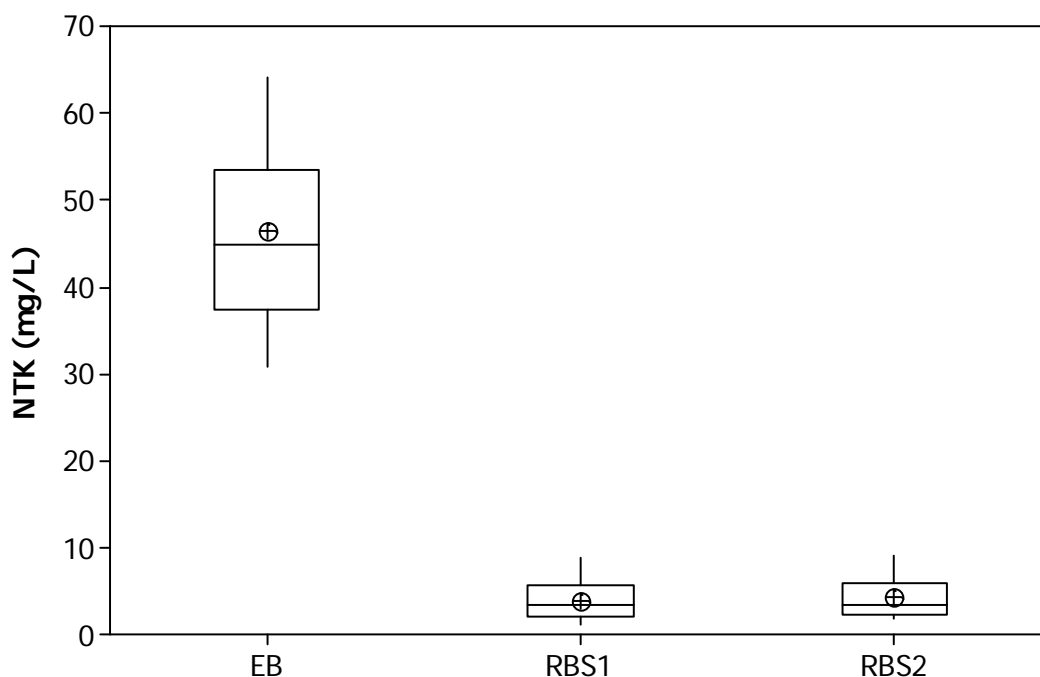


FIGURA 5. Comportamento da concentração de NTK nos sistemas estudados (Box-plot) durante a fase experimental

CONCLUSÕES

O sistema RBS1 monitorado com 4 ciclos diários não apresentou diferenças significativas ($p < 0,05$) quanto a remoção de DQO, NTK e SST, em relação ao sistema monitorado com 3 ciclos diários. No entanto, os valores médios de nitrato dos efluentes apresentaram diferenças significativas ($p > 0,05$) entre os sistemas RBS1 e RBS2, com maior eficiência para RBS2 (57,5%).

Os dois sistemas de bateladas sequenciais RBS1 e RBS2 apresentaram bom desempenho quanto à remoção de DQO (86 e 85%), NTK (91 e 90%) e SST (86 e 86%), respectivamente.

Para melhorar o desempenho do processo seria necessário modificar o sistema com intuito de favorecer a desnitrificação para promover a remoção completa de nitrogênio.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. Washington: American Public Health Association, 1998.
2. BUCHAUER, K. A. A comparison of two simple titration procedures to determine volatile fatty acids in effluents to waste – water and sludge treatment processes. **Water S. A.** v. 1, n.24, p. 49 – 56, 1998.
3. IRVINE, R.L.; BUSCH, A W. “Sequencing batch treatment reactors an overview” **Journal Water Pollution Control Federation**, v. 51, n.5, p. 235-242, 1979.
4. MAHVI, A. H.; MESDAGHINIA, A.; KARAKANI F. (2004) Feasibility of continuous flow sequencing batch reactor in domestic wastewater treatment. **American Journal of applied Sciences** 1(4): p. 348-353.
5. METCALF & EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. 4th ed. rev. New York: McGraw-Hill, 1.758 p. 2003.
6. OBAJA, D.; MACÉ, S.; COSTA, J.; SANS, C.; MATA-ALVAREZ, J. Nitrification, denitrification and biological phosphorus removal in piggery wastewater using a sequencing batch reactor. **Bioresource Technology**. 87 (2003) 103-111.
7. VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. O. **O comportamento do sistema de lodo ativado – Teoria e aplicação para projeto e operação**. Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, Epgraf, 472 p. 1999.
8. VAN LOOSDRECHT, M.C.M. & JETTEN, M.S.M. Microbiological Conversions in Nitrogen Removal. **Water Science and Technology**, New York, USA, v.38, n.1, p.1-7, 1998.