

II-471 - AVALIAÇÃO DE FILTRO AERADO SUBMERSO NA NITRIFICAÇÃO/DESNITRIFICAÇÃO DE ESGOTOS

Weliton Freire Bezerra Filho⁽¹⁾

Mestrando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da UFRN

Cícero Onofre de Andrade Neto

Professor Associado da UFRN e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN

André Luís Calado Araújo

Professor do IFRN e do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária da UFRN

Endereço⁽¹⁾: Rua Praia da Penha – 9088 – Ponta Negra – Natal/RN – CEP: 59.092-320 Tel: +55 (84) 9988-2888 - e-mail: **Weliton.freire@gmail.com**

RESUMO

A disposição inadequada do nitrogênio em corpos receptores gera problemas como: toxicidade para os seres vivos; consumo de oxigênio do meio para atender a demanda nitrogenada; eutrofização; e contaminação dos aquíferos por nitrato. Por esta razão é muitas vezes necessário que seja realizado um tratamento complementar dos esgotos para eliminar, ou reduzir, a concentração deste composto nas águas residuárias.

O objetivo deste trabalho é avaliar a remoção biológica dos compostos nitrogenados utilizando filtros aerados submersos como pós-tratamento de um sistema anaeróbio, utilizando uma tecnologia inovadora, de baixo custo, que em estudos anteriores demonstrou uma grande eficiência na remoção de matéria orgânica carbonácea e um grande potencial na remoção biológica de compostos nitrogenados.

A forma simples como o sistema foi concebido, com mangueiras perfuradas para distribuição do ar e preenchimento de peças plásticas - conduíte cortado - mostrou-se bastante eficiente em relação à remoção de matéria orgânica e na nitrificação. O grande índice de vazios apresentado por este tipo de material suporte aliado a aeração direta do lodo, permitem que a biomassa retida entre na fase endógena, aumentando a capacidade de retenção de lodo, dispensando o decantador secundário e remoções periódicas do lodo. Além disso, o sistema produz um efluente com baixa DQO e turbidez.

PALAVRAS-CHAVE: Nitrificação, Desnitrificação, Filtros Biológicos.

INTRODUÇÃO

Os problemas causados pelo lançamento de esgotos não tratados, ou tratados de maneira inadequada, nos corpos aquáticos, têm sido cada vez mais discutidos no mundo inteiro há algum tempo, contudo a preocupação sempre foi com a remoção de matéria orgânica e de patogênicos. Ultimamente a preocupação com relação à remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) tem ganhado muito espaço, tornando-se alvo de diversos estudos a esse respeito.

Um dos problemas mais recorrentes, especialmente em corpos aquáticos lênticos, causado pelo aporte de nutrientes é a eutrofização. Segundo Von Sperling et. al., (2009), eutrofização é o enriquecimento do meio aquático com nutrientes, causando o crescimento de organismos e plantas aquáticas – especialmente algas – que podem atingir níveis tais que causem interferências aos usos desejáveis do corpo d'água.

O material nitrogenado presente em águas residuárias compõe-se principalmente de nitrogênio amoniacal (gasoso, NH_3 ; e salino, NH_4^+) e nitrogênio orgânico (uréia, aminoácidos e outras substâncias orgânicas como o grupo amino). Ocasionalmente ocorrem traços de formas oxidadas de nitrogênio, como nitrito (NO_2^-) e o nitrato (NO_3^-). (VAN HAANDEL, KATO, VON SPERLING, 2009).

O nitrogênio amoniacal quando disposto em corpos receptores em concentrações inadequadas gera alguns inconvenientes, como: toxicidade para os seres vivos, dependendo da temperatura e do pH do meio; consumo de oxigênio para atender a demanda nitrogenada; eutrofização de corpos aquáticos; e, ainda, contaminação dos aquíferos por nitrato, resultado da oxidação da amônia durante sua percolação no solo. (ARAÚJO et. al. 2009). Por esta razão é muitas vezes necessário que seja realizado um tratamento complementar dos esgotos para

eliminar, ou reduzir, a concentração deste composto nas águas residuárias, e um dos processos mais simples e seguros e a remoção biológica.

Sob o ponto de vista clássico, a nitrificação é a oxidação de nitrogênio amoniacal realizada por microrganismos quimiolitoautotróficos e sob condições aeróbias estritas. A conversão do nitrogênio amoniacal em nitrato ocorre por meio de reações heterogêneas, em duas etapas: a primeira é chamada nitrificação – oxidação de N-amoniacal a nitrito – e a segunda é denominada nitratação – oxidação do nitrito a nitrato. (FLORENCIO, et. al, 2009).

Em baixas temperaturas ($< 20^{\circ}$), a nitratação é muito mais rápida que a nitrificação, por isso, em sistemas estacionários, a nitratação será imediata e a concentração de nitrito será muito baixa. Já em condições de temperatura mais elevadas ($> 25^{\circ}$) a nitrificação é mais rápida que a nitratação, e por esta razão pode haver acumulação de nitrito quando se cria condições adequadas. (VAN HAANDEL, KATO, VON SPERLING, 2009).

A concentração de organismos nitrificantes decresce à medida que a relação C/N cresce. Quando a nitrificação se dá em reatores com biofilme este fator tem sido o mais limitante. Isso se explica, pois as bactérias predominantes na nitrificação são autotróficas e tais microorganismos não se desenvolvem bem em ambientes com alta concentração de matéria orgânica carbonácea.

A desnitrificação utilizando compostos carbônicos como doadores de elétrons é a forma mais conhecida de remoção de nitrogênio. É a etapa biológica em que ocorre a efetiva remoção do nitrogênio inorgânico nas formas de nitrito e nitrato com sua conversão para formas mais reduzidas, como N_2O , NO e N_2 .

A desnitrificação, assim como ocorre com a nitrificação, também sofre influência das condições ambientais. Porém as bactérias envolvidas no processo de nitrificação são mais sensíveis que as envolvidas na desnitrificação, logo, quando a primeira se desenvolve a segunda também é possível (METCALF e EDDY, 2004).

Com relação a temperatura Van Haandel, Kato e Von sperling (2009), afirmam que a desnitrificação aumenta com temperatura até um valor ótimo de $40^{\circ}C$.

Altas concentrações de oxigênio dissolvido podem atrapalhar o processo de desnitrificação, uma vez que este elemento é prioritário na cadeia respiratória, e é necessário que ele não esteja presente, ou esteja em pequena concentração, para que as bactérias responsáveis pela desnitrificação utilizem o nitrato e o nitrito.

Alguns autores relatam que a melhor relação C/N encontra-se próxima a 1 (um) e explicam que o uso de uma relação abaixo do ideal leva ao acúmulo de nitrito, devido à falta de doador de elétrons, no caso a matéria orgânica, impedindo a completa desnitrificação (HER e HUANG, 1995 apud, ARAÚJO, 2009).

Geralmente as estações de tratamento de esgoto (ETE) que fazem remoção biológica de nitrogênio utilizam três unidades de tratamento diferentes, reator anaeróbio, reator aeróbio e reator anóxico.

Este trabalho busca uma alternativa tecnológica com a utilização de eletroduto corrugado cortado como meio suporte nos filtros aerados submersos. Este material apresenta um alto índice de vazios (cerca de 90%) o que permite o acúmulo de grande quantidade de biomassa, aumentando o tempo de retenção celular no interior do reator, além de apresentar baixo custo de implantação e operação.

O lodo retido recebe a areação diretamente, isto possibilita que a biomassa acumulada no interior do reator entre na fase endógena, consumindo o lodo retido, isto dá ao reator uma alta capacidade de remoção de matéria orgânica, sólidos e turbidez, sem, no entanto, ser necessário descargas de lodo rotineiras.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a remoção biológica dos compostos nitrogenados utilizando filtros aerados submersos com acumulação de lodo como pós-tratamento de um sistema anaeróbio, composto de decanto-

digestor e filtros anaeróbios, que se apresenta como uma alternativa bastante promissora nas condições brasileiras.

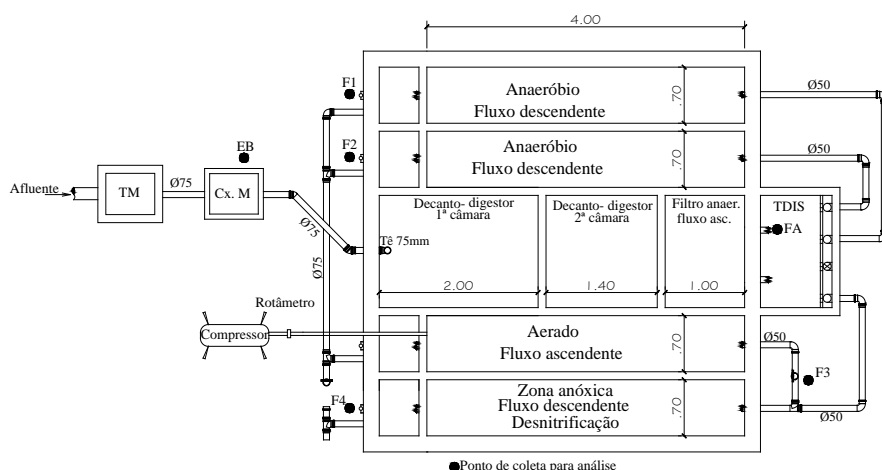
3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA

O sistema em estudo está localizado no espaço físico da Estação de Tratamento de Esgotos do Campus Central da UFRN, em Natal/RN. Recebe esgotos essencialmente domésticos, e é alimentado pelo efluente do Departamento de Educação Física, Pouso Universitário, Residências Universitárias I e II e pelo restaurante universitário.

O sistema é composto por um decanto-digestor prismático retangular com duas câmaras em série, seguido por um pequeno filtro com Brita nº4 de fluxo ascendente (Sistema RN), dois filtros anaeróbios de fluxo descendente afogados, um filtro aerado de fluxo ascendente e um filtro anóxico de fluxo descendente, conforme esquema apresentado na Figura 1.

Figura 1: configuração do sistema



Os círculos pretos no esquema são os locais onde foram feitas as coletas para posterior análise. A saber: EB corresponde a esgoto bruto, F1 e F2 são os efluentes dos filtros anaeróbios, F3 é o efluente do filtro aeróbio e F4 é o efluente do filtro anóxico. As coletas foram realizadas sempre as quintas feiras, às 8 horas da manhã.

As grandes inovações do sistema são a simplicidade operacional e o grande poder de retenção da biomassa no interior do reator. Neste sistema o ar é introduzido no reator através de mangueiras perfuradas com agulha, localizadas no interior do cano que distribui o afluente no reator. A utilização destes materiais simples facilitam a manutenção e diminuem os custos de projeto.

Além disso, o material suporte – eletroduto corrugado cortado – proporciona um elevado índice de vazios. Isto, proporciona uma grande eficiência na retenção da biomassa no interior do reator, e eleva o tempo de retenção celular, reconhecidamente um importante fator na estabilidade e eficiência dos processos biológicos, especialmente na nitrificação.

O índice elevado de vazios somado com a aeração direta do lodo, proporciona que as bactérias entrem na fase endógena, e consequentemente, consumam o lodo retido. Isto aumenta a capacidade de retenção de lodo do reator e dispensa a necessidade de remoções periódicas do lodo e de um decantador secundário.

3.2 FASES DA PESQUISA

A pesquisa foi dividida em duas fases, A primeira fase teve duração de 16 semanas na qual foi utilizada vazão de ar de 0,10 m³/min e vazão de esgoto de 10 m³/dia. A segunda fase teve duração de 8 semanas, sendo alterada

apenas a vazão de ar no filtro aerado para $0,15\text{m}^3/\text{min}$, para proporcionar uma nitrificação mais eficiente. Nas duas fases a desnitrificação foi testada sem fonte externa de carbono.

Para ambas as etapas foram analisados os seguintes parâmetros: oxigênio dissolvido, turbidez, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, DQO e alcalinidade, realizadas segundo o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (1998). Além do pH, que foi obtido em campo por meio do aparelho multifuncional.

4 RESULTADOS

A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados médios obtidos nas duas fases da pesquisa. É possível observar que houve produção de nitrato ao longo da fase 01, contudo, a nitrificação ficou aquém do esperado, por esta razão a vazão de ar foi elevada na segunda fase. Após a elevação houve um considerável incremento da nitrificação e, consequentemente, uma redução da concentração final de nitrogênio na forma de amônia para valor inferior a 10 mg/L .

Tabela 1: Resumo dos resultados médios obtidos nas duas fases da pesquisa

Parâmetro	Fase 01					Fase 02				
	EB	SRN	ANA	AER	ANX	EB	SRN	ANA	AER	ANX
Nitrogênio Amoniacal (mg/l)	71,4	61,4	59,6	27,7	28,3	57	51,3	53,3	9,4	8,9
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	9,5	3,6	2,4	0,9	0,6	7,4	3,0	2,1	1,6	0,8
N-NO ₂ (mg/L)	-	-	-	2,3	1,3	-	-	-	0,1	0,0
N-NO ₃ (mg/L)	0,1	0,1	0,0	7,3	5,9	0,2	0,1	0,0	18,4	16
OD (mg/L)				2,6	0,7				2,9	1,0
pH	8,3	7,7	7,6	7,3	7,4	7,8	7,3	7,2	6,5	6,6
Alcalinidade (mg CaCO ₃ /L)	408,5	389,1	381,3	217,4	244,3	348,7	346,0	357,5	95,3	105,8
DQO (mg/L)	387,6	196,1	140,1	59,3	52	301,9	207,3	145,6	62,8	50,3
Turbidez (UT)	276,7	58,4	39,2	7,6	2,0	105,2	50,4	34,7	12,2	5,0

A saber: EB equivale ao esgoto bruto; SRN é equivalente ao efluente do sistema RN; ANA refere-se ao efluente dos filtros anaeróbios; AER é o filtro aerado; ANX o filtro anóxico.

Analisando as concentrações médias de oxigênio dissolvido observa-se que os valores de $2,6\text{ mg/L}$ e $2,9\text{ mg/L}$ nas fases 01 e 02 respectivamente, medidos na saída do filtro aerado, são superiores ao valor de $1,5\text{ mg/L}$ apresentado por Von Sperling e Fróes (1998), como concentração mínima para que a nitrificação ocorra e dentro do intervalo de $2\text{ a }5\text{ mg/L}$ que Moreira, Yamakawa e Alegre (2002) estudaram, e atingiram a nitrificação trabalhando com esgotos domésticos.

No filtro anóxico o valor médio de $0,7\text{ mg/L}$ de OD na fase 01 e $1,0\text{ mg/L}$ na fase 02 estão acima dos $0,3$ recomendados por Van Haandel e Marais (1999) como a concentração máxima suportada para que a desnitrificação ocorra, entretanto o resultado da fase 01 é inferior e o da fase 02 é igual ao valor de $1,0\text{ mg/L}$, o qual Ferreira (2000) aponta como nível máximo antes de ocorrer a inibição da desnitrificação.

É importante colocar que devido a problemas técnicos não foi possível aferir a concentração de OD dentro dos filtros, esta aferição foi feita na saída dos mesmos, e este procedimento pode ter interferido nos valores encontrados.

A fase 01 apresentou uma concentração de nitrito atípica. Segundo Fdz-Polanco (1996), com valores baixos de pH e temperatura, e, em altas concentrações de amônio, a atividade relativa dos microrganismos oxidantes de amônia pode ser maior do que os oxidantes de nitrito, ocorrendo, portanto, o acúmulo de nitrito no sistema. Contudo, a hipótese mais forte é que o período de aclimação da biomassa nitrificante tenha sido mais longo do que o previsto. Esta hipótese ganha força analisando a fase 02, com as bactérias melhor aclimatadas, a concentração média de nitrito foi próxima a zero.

Conforme apresentado na Tabela 1 e ilustrado na Figura 2, a concentração média do nitrogênio amoniacal no esgoto bruto na fase 01 foi de 71,4 mg/L e na saída do sistema esta concentração foi de 28,3 mg/L, o que representa uma redução de aproximadamente 60%. Mesmo observando uma redução significativa na concentração de nitrogênio amoniacal da etapa anaeróbia para a etapa aerada, o valor de saída ainda é considerado elevado.

A Figura 3 apresenta os resultados de nitrogênio amoniacal da fase 02, o primeiro ponto a se observar é a mudança de característica do esgoto bruto, enquanto na fase 01 a concentração média ficou em 71,4 mg/L, na fase 02 esta concentração ficou em 57 mg/L. Esta redução pode ser explicada pelo fato de que dezembro e janeiro, meses onde ocorreram as coletas de dados para fase 02, corresponde as férias universitárias, o que contribui para um esgoto mais diluído.

Ainda analisado a Figura 3, é possível observar que o aumento da aeração causou uma diminuição significativa do nitrogênio amoniacal da etapa anaeróbia para o filtro aerado. No final da etapa anaeróbia a concentração média de N-amoniacal era de 53,3 mg/L caindo significativamente para 9,4 na saída do filtro aerado e 8,9 na saída do filtro anóxico. Com esta configuração o sistema apresentou uma eficiência total na remoção do nitrogênio amoniacal de 84%.

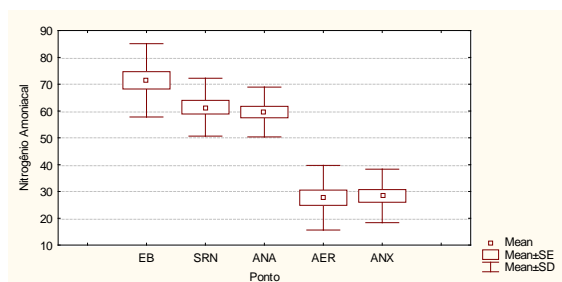


Figura 02: Box Plot do nitrogênio amoniacal (mg/L) na fase 01

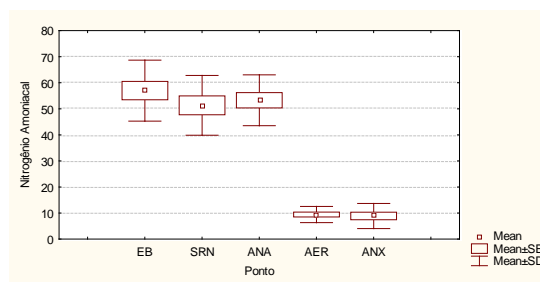


Figura 03: Box Plot do Nitrogenio amoniacal (mg/L) na fase 02

A concentração média de nitrogênio orgânico no esgoto bruto foi de 9,5 mg/L na fase 01 e 7,4 mg/L na fase 02, bem abaixo dos 21,21 mg/L encontrado no esgoto estudado por Lopes (2010), e abaixo dos 20 mg/L apresentados por Von Sperling (2002), como sendo característico de esgoto bruto.

Além de tratar-se de um esgoto bastante diluído antes de entrar no sistema o afluente fica armazenado em um tanque que regula a vazão de entrada no sistema, esse período ajuda no processo de amonificação do esgoto.

A figura 04 apresenta a evolução do nitrogênio orgânico na fase 01. A remoção deste composto se mostrou eficiente já na etapa anaeróbia do sistema e foi incrementada na etapa aerada. A concentração média no EB foi de 9,5 mg/L na saída dos filtros anaeróbios esta concentração já reduziu para 2,4 mg/L, uma eficiência de remoção de 75%, na saída do filtro aerado a concentração média foi de 0,9 mg/L e na saída do sistema a concentração foi de 0,6 mg/L, neste caso, observa-se uma eficiência total de remoção de 94%.

Na fase 02, conforme observado na figura 05, a concentração média no esgoto bruto ficou em 7,4 mg/L e na saída do sistema a concentração média foi de 0,8 mg/L, o representa um eficiência de remoção de 89%.

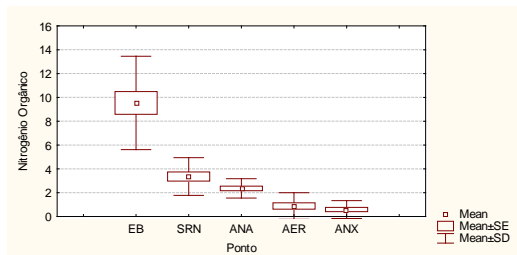


Figura 04: Box plot do nitrogênio orgânico (mg/L) na fase 01

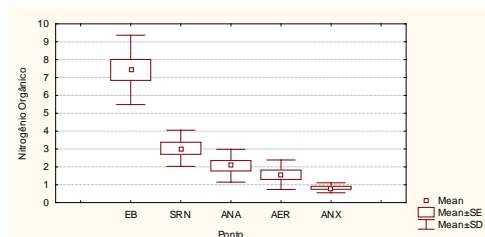


Figura 05: Box plot do nitrogênio orgânico (mg/L) na fase 02

Com relação ao nitrato, na fase 01, representada pela figura 06, observou-se uma média de 7,3 mg/L de $N-NO_3$ no filtro aerado, apesar de a nitrificação ter ocorrido de forma evidente, os resultados ficaram aquém do esperado e o principal fator foi a aeração insuficiente para atender a demanda nitrogenada, tendo sido necessário um incremento na aeração na fase 02

Ainda na fase 01, observou-se que a concentração média de $N-NO_3$ na saída do sistema ficou em 5,9 mg/L. Comparando-se com os valores da saída do filtro aerado é possível notar um sutil decaimento da concentração de $N-NO_3$, sutil ao ponto de se poder afirmar que não houve desnitrificação significativa nesta fase da pesquisa. A fase 02, representada pela figura 07, apresentou uma concentração média de $N-NO_3$ no filtro aerado de 18,4 mg/L, com picos de 22,5 mg/L. Neste caso é possível considerar que o fornecimento de oxigênio foi suficiente e proporcionou um resultado dentro do esperado, tanto para o aumento da concentração média de nitrato, como para a consequente redução das concentrações médias das demais formas de nitrogênio.

Mesmo percebendo uma leve desnitrificação que pode ser comprovada não só pela redução da concentração média do nitrato na saída do filtro anóxico como também pela elevação do pH e da alcalinidade, o resultado ainda é aquém do esperado. O afluente ao filtro anóxico possuía concentração média de nitrato de 18,4 mg/L e o efluente um concentração média de 16 mg/L, ou seja, houve uma leve desnitrificação

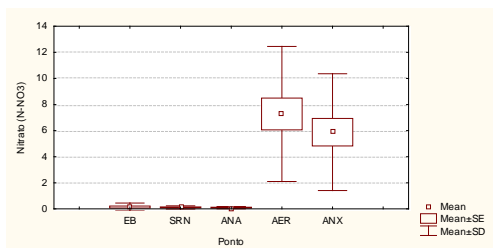


Figura 06: Box plot do N-NO3 (mg/L) da fase 01

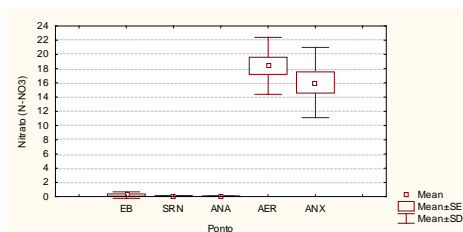


Figura 07: Box plot do N-NO3 (mg/L) da fase 02

Todavia, mesmo a desnitrificação tendo sido ineficiente nas duas fases da pesquisa é possível perceber uma redução na concentração dos compostos nitrogenados ao final do processo em ambas as fases. A assimilação foi determinante nesta redução. Na fase 01 54% do nitrogênio que entrou no sistema foi assimilado pela biomassa e ficou retido no interior do reator, e apenas 1% foi desnitrificado.

Este resultado foi obtido somando-se a concentração média das formas nitrogenadas na entrada do sistema na fase 01 obtendo-se o valor de 80,9 mg/L (Nitrogênio orgânico + Nitrogênio amoniacal, uma vez que a concentração de $N-NO_2$ e $N-NO_3$ são desprezíveis neste ponto), esta mesma conta efetuada na saída tem-se o valor de 36,1 mg/L (Nitrogênio orgânico + Nitrogênio amoniacal + nitrito + nitrato).

Repetindo-se a operação para a fase 02, encontra-se que 56% do nitrogênio foi assimilado pelas bactérias, enquanto 1% foi removido via denitrificação.

As figuras 7 e 8 apresentam os resultados para o pH das fases 01 e 02 respectivamente, nota-se que em ambas as fases houve uma diminuição do pH no filtro aerado, causada pelo consumo de alcalinidade resultado da nitrificação, e uma leve elevação no filtro anóxico, resultado da baixa atividade desnitrificante.

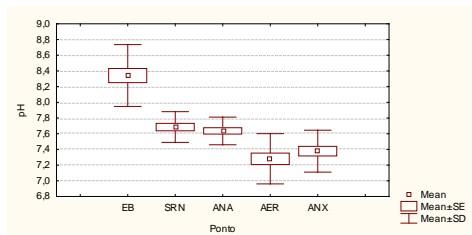


Figura 8: Box plot do pH da fase 01

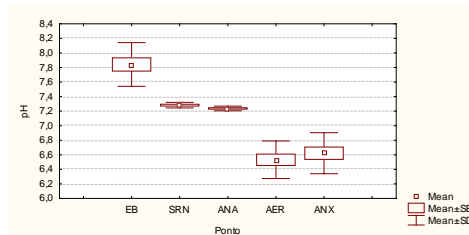
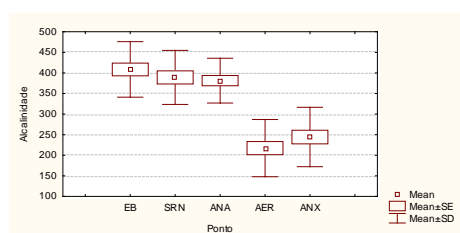
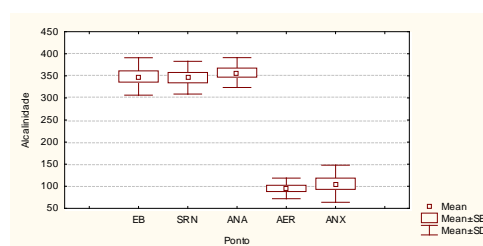


Figura 9: Box plot do pH da fase 02

Como não poderia ser diferente, os dados de alcalinidade seguem a mesma tendência dos dados do pH, constância durante a etapa anaeróbia, queda na etapa aerada e leve subida na etapa anóxica.

Observa-se pela análise das Figuras 10 e 11, que a como a atividade nitrificante foi mais intensa na fase 02, houve também um maior consumo de alcalinidade nesta fase. Para cada mg de nitrato formado foram consumidos 14,24 mg CaCO_3 .

Figura 10: Box plot da alcalinidade (mg CaCO_3/L) da fase 01Figura 11: Box plot da alcalinidade (mg CaCO_3/L) da fase 02

O biofiltro aerado submerso se mostrou bastante eficiente no tocante a complementação da remoção de material carbonáceo iniciada na etapa anaeróbia. Na fase 01 (Figura 12) a DQO média afluente ao filtro aerado foi de 140,1 mg/L e a do efluente na saída do filtro anóxico foi de 52 mg/L, desta forma, os filtro aerado e anóxico apresentaram uma eficiência de 63% na remoção de matéria orgânica.

Na fase 02 (Figura 13) o filtro aerado recebeu um afluente similar ao da fase anterior (145,6 mg/L no efluente dos filtros anaeróbios). Nesta fase a eficiência na complementação da remoção de DQO foi de 65%.

Esta boa eficiência apresentada pelo sistema pode ter sido uma das causas da desnitrificação não ter ocorrido significativamente sem a adição da fonte externa de carbono. A DQO de entrada do filtro anóxico de 59 mg/L pode ter sido insuficiente para suprir a demanda carbonácea das bactérias desnitrificantes.

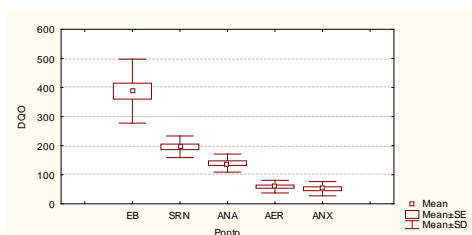


Figura 12: Box plot da DQO (mg/L) da fase 01

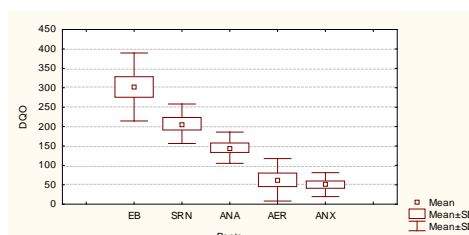


Figura 13: Box plot da DQO (mg/L) da fase 02

Uma das características mais importantes do sistema pode ser observada analisando as Figuras 14 e 15, que apresentam os dados de turbidez. Estes resultados mostram a grande capacidade do sistema em reter os sólidos em seu interior dispensando uma etapa seguinte para separação de sólidos.

Na fase 01 a eficiência média na remoção da turbidez foi de 99%, reduzindo de 277 UT do esgoto afluente para 2 UT no efluente final. Este valor atende inclusive o padrão mais rigoroso recomendado pelo PROSAB e citado por Aisse, Cohim, Kiperstok, (2006), para reuso em meio urbano.

Mesmo o aumento da aeração na fase 02 tendo elevado a turbidez do efluente final o resultado médio de 5 UT no efluente final, indica uma eficiência de remoção de 95%. E se enquadram no padrão menos rigoroso para turbidez proposto pelo PROSAB e apresentado pelos mesmos autores para uso urbano não potável (menor ou igual a 20 UT), desta forma, este parâmetro não seria empecilho para utilização deste efluente para limpeza pública, compactação do solo, controle de poeira e irrigação urbana de horto/compostagem, por exemplo.

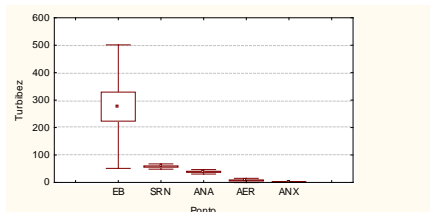


Figura 14: Box plot da Turbidez (UT) da fase 01

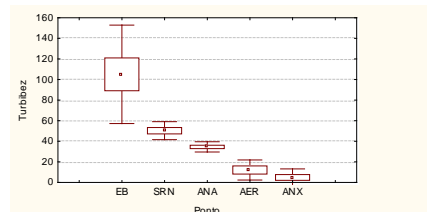


Figura 15: Box plot da Turbidez (UT) da fase 02

5 CONCLUSÕES

A forma simples como o sistema foi concebido, com mangueiras perfuradas para distribuição do ar e preenchimento de peças plásticas - conduíte cortado - mostrou-se bastante eficiente em relação à remoção de matéria orgânica e na nitrificação. O grande índice de vazios apresentado por este tipo de material suporte é fundamental para reter a biomassa no interior do reator e proporcionar efluente de boa qualidade e com baixa turbidez.

Na primeira etapa da pesquisa a nitrificação foi significativa, entretanto, a conversão de nitrogênio amoniacal em nitrato ficou abaixo da esperada. Com o aumento da vazão de ar na segunda fase, a nitrificação foi mais eficiente, e foi possível produzir efluente final com concentração de nitrogênio amoniacal inferior a 10 mg/L.

Já a desnitrificação ocorreu em pequena escala, e a causa provável pode ter sido a baixa relação C/N, uma vez que quando o efluente chega ao filtro anóxico grande parte do carbono já foi removida nas fases anteriores, e como o sistema foi testado inicialmente sem fonte externa de carbono, este pode ter sido o motivo da baixa atividade desnitrificante.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ARAÚJO, R. F. **Remoção de compostos nitrogenados em filtros biológicos submersos aerados, em escala piloto.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2009.
2. ARAÚJO, R. F.; ANDRADE NETO, C. O.; DELGADO, T. C.; SILVA, H. N.; MEDEIROS, I. B. A. **Uso de filtros aerados rudimentares para oxidação de nitrogênio amoniacal contido em efluentes de reatores anaeróbios.** 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, ABES. Recife, 2009.
3. AISSE, M. M.; COHIM, E.; KIPERSTOK, A.; Reúso Urbano e Rural. In: FLORÊNCIO, L. (org) **Tratamento e utilização de esgotos sanitários.** Rio de Janeiro: ABES, 2006.
4. FLORÊNCIO, L.; ALMEIDA, P. G. S.; MENDONÇA, N. M.; VOLSHAM JR, I.; ANDRADE NETO, C. O.; PIVELI, R. P.; CHERNICHARO, C. A. L. **Nitrificação em reatores aeróbios com biomassa aderida.** In: MOTA, S. B.; VON SPERLING, M (org). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção.** ABES, 2009.
5. Fdz-Polanco, F.F., Villaverde, S. e Garcia, P.A. (1996). **Nitrite accumulation in submerged biofilters - combined effects.** Water Science Technology, 34, (3-4), 371-378.
6. LOPES, J. C. **Aplicação de reatores híbridos aeróbicos para o pós tratamento de reatores anaeróbicos enfocando a nitrificação do sistema.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2009.
7. MOREIRA, M. P.; YAMAKAWA, C. S.; ALEGRE, R. M.; **Adição de fonte de carbono no início da fase anóxica na remoção de macronutrientes e DQO por lodo ativado usando RBS no tratamento de água residuária avícola.** Engenharia Sanitária, vol. 7 – nº 1 – jan/mar 2002 e nº 2 – abr/jun 2002.

8. VAN HAANDEL, A; KATO, M; VON SPERLING, M. Remoção biológica de nitrogênio: aplicações para sistema de lodos ativados. In: MOTA, S. B.; VON SPERLING, M (org). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. ABES, 2009.
9. VAN HAANDEL, A.; MARAIS, G., **Comportamento do Sistema de Lodo Ativado – Teoria e Aplicações para Projetos e Operação**. Campina Grande, 1999.
10. VON SPERLING, M. **Princípio básicos do tratamento de esgotos**. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental: Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.
11. VON SPERLING, M.; ANDRADE NETO, C. O; VOLSHAM JR, I.; FLORÊNCIO, L. Impacto dos nutrientes do esgoto lançado em corpos de água. MOTA, S. B.; VON SPERLING, M (org). **Nutrientes de esgoto sanitário: utilização e remoção**. ABES, 2009.
12. VON SPERLING, M; FRÓES, C. M. V.; **Avaliação do desempenho de uma ETE tipo aeração prolongada com base em três anos de monitoramento intensivo**. Asociación Peruana de IngenierYa Sanitaria y Ambiental; AIDIS. Gestión ambiental en el siglo XXI. Lima, APIS, 1998, p.1-7 Ilus.