

II-337 - PARTIDA DE REATOR EM BATELADAS SEQUENCIAIS NITRIFICANTE COM CONDIÇÕES ATÍPICAS DA ÁGUA RESIDUÁRIA

Mariane Gomes Temoteo ⁽¹⁾

Discente do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental - IFCE. Bolsista PIBIT de Iniciação Científica do IFCE, Campus Limoeiro do Norte.

Valcicleide Maia dos Santos

Discente do curso de Tecnologia em Saneamento Ambiental - IFCE. Bolsista PIBIT de Iniciação Científica do IFCE, Campus Limoeiro do Norte.

Heraldo Antunes Silva Filho

Doutor em Engenharia Ambiental - UEPB. Professor efetivo do IFCE, Campus Limoeiro do Norte.

Jarbas Rodrigues Chaves

Mestre em Tecnologia e Gestão Ambiental - IFCE. Técnico de Laboratório do IFCE, Campus Limoeiro do Norte.

Endereço⁽¹⁾: Rua Estevão Remígio, 1145 – Limoeiro do Norte – CE - CEP: 62930-000 - Brasil - Tel: (88) 3447-6413 e-mail: mariane_gomes31@hotmail.com

RESUMO

A nitrificação é um processo que deve ser previsto em estações de tratamento de efluentes que utilizam sistema de lodo ativado, pois demanda uma ordem de 50% de oxigênio e demanda de alcalinidade devido as reações de oxidação do material nitrogenado, acarretando uma redução no pH, podendo causar problemas nas ETE's que utilizam sistema de lodo ativado ou qualquer outro tipo de sistema que possa acontecer a nitrificação. Este trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento do processo de nitrificação completa utilizando um reator em bateladas sequenciais em sistema de lodo ativado, tendo como substrato um afluente com características atípicas para o crescimento de bactérias nitrificantes. A utilização de um RBS é devido a sua flexibilidade operacional deste tipo de configuração. Para estabelecimento da nitrificação o sistema passou por seis fases de operação, ambas as fases passaram por ajustes operacionais com vista a estabelecer condições para esse processo. A matriz de alimentação do sistema era proveniente de um tanque de equalização que recebia contribuições dos banheiros e cozinha industrial de uma instituição de ensino, a matriz de alimentação, na última fase operacional passou por um ajuste nas concentrações de amônia, alcalinidade e matéria orgânica para melhorar as condições de crescimento e permeância das bactérias nitrificantes no sistema. Apenas na última fase de operação do que pôde-se constatar o processo de nitrificação convencional. Nesta 6ª fase o pH foi monitorado em seus distintos períodos (esgoto bruto, esgoto ajustado, aeração, pré e pós-D e saída), as médias do efluente do sistema manteve-se em 8,0. Através das análises de monitoramento do sistema verificou-se um efluente nitrificado com concentrações médias de amônia abaixo de 2 mg/L, nitrito 5,14 mg/L e nitrato 21,0 mg/L. É possível cultivar bactérias nitrificantes no reator em bateladas sequenciais, porém, faz-se necessário um delicadíssimo monitoramento, principalmente com o pH.

PALAVRAS-CHAVE: Nitrificação, Lodo Ativado, Atípica, RBS.

INTRODUÇÃO

A nitrificação convencional é de grande importância para a remoção de nitrogênio em águas residuárias municipais, processo comumente no processo para remoção de nutrientes empregado e quase inevitável nas estações de tratamento de efluente por sistemas de lodo ativado. Segundo EKAMA, (2015) a nitrificação é mediada por dois grupos de organismos nitrificantes autotróficos, o primeiro genericamente chamado de bactérias oxidantes de amônia (BOA), que utiliza amônia como doador de elétrons e o oxigênio como receptor de elétrons e produz nitrito, e o segundo, geralmente as bactérias oxidantes de nitrito (BON), utilizam nitrito como doador de elétrons e o oxigênio como receptor de elétrons e produz nitrato.

A nitrificação - e especialmente a oxidação de amônia (nitritação) - é um processo sensível a fatores inibitórios, porque o número de diferentes microrganismos que desempenham esta função é limitado, estas espécies têm baixos rendimentos de crescimento e são sensíveis a parâmetros ambientais variáveis como temperatura ou pH.

Em termos de estequiometria a nitrificação tem dois aspectos importantes: (1) provoca uma demanda de oxigênio que é da ordem de 50 % da demanda que existe para a oxidação do material orgânico em sistemas de tratamento e (2) a nitrificação que causa o consumo de alcalinidade e pode haver necessidade de adição de alcalinizante (geralmente cal) para manter o pH estável e na faixa neutra (ABREU, 2000). A equação abaixo apresenta a estequiometria da nitrificação convencional, descrita por SANT'ANNA JR, (2010).



Quanto ao consumo de alcalinidade pela nitrificação, este poderá causar uma redução do pH do licor misto. A magnitude da redução depende da capacidade de tamponamento da água residuária e da concentração de amônia oxidada (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999). As duas etapas que compõe a nitrificação geram H^+ , consumindo assim a alcalinidade na proporção de 7,14 mg CaCO_3 /mgN- NH_4 , de forma que pode levar a uma diminuição do pH para valores que limitam a nitrificação (pH < 5,5).

A alcalinidade pode ser fornecida por fontes externas, ou ser retirada da combinação da nitrificação com outros processos biológicos, como a amonificação e a desnitrificação, os quais fornecem alcalinidade ao meio. De toda forma, a compensação com outros processos é insuficiente visto que o acréscimo é em torno de 20% do consumo, caso busque-se nitrificação completa em esgotos domésticos (VAN HAANDEL; MARAIS, 1999).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desenvolvimento do processo de nitrificação completa em sistema de lodo ativado, tendo como substrato um afluente com características atípicas para o crescimento de bactérias nitrificantes. A opção por sistema em batelada é devida à flexibilidade operacional desse tipo de sistema.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para estabelecimento da nitrificação convencional foi utilizado um reator em batelada sequencial (RBS) no qual foi alimentado com a água residuária. Dada à atipicidade do afluente, com elevada carga nitrogenada e baixa alcalinidade, foram necessárias adaptações operacionais ao longo da pesquisa com vistas a estabelecer o processo da nitrificação. Cada adaptação operacional aplicada foi nominada de fases de operação, constituindo seis fases.

Esgoto sintético

O esgoto utilizado na pesquisa é proveniente de um tanque de equalização originado dos banheiros e cozinha industrial de uma instituição de ensino, com população flutuante em torno de 1000 hab. Foi avaliado a concentração de matéria orgânica (DQO), amônia, e o pH para que fosse possível adaptá-lo, dando condições para o crescimento das bactérias nitrificantes no sistema. Foi utilizado acetado de sódio como fonte de carbono orgânico e carbonato de sódio (Na_2CO_3) para aumento da alcalinidade do esgoto bruto.

Primeira fase

Foi construído um RBS com volume útil de 2 litros, composto por um aerador interligado a duas mangueiras com pedras porosas que promoviam a difusão de ar no sistema, mantendo um oxigênio dissolvido na faixa de 6 mg/L no reator. O sistema apresentava fases operacionais de: enchimento, aeração/reação, sedimentação e descarte (Figura 1) compreendendo ciclos de 8 e 16 horas, com períodos de 7h30min e 15h30min de aeração/reação, respectivamente.

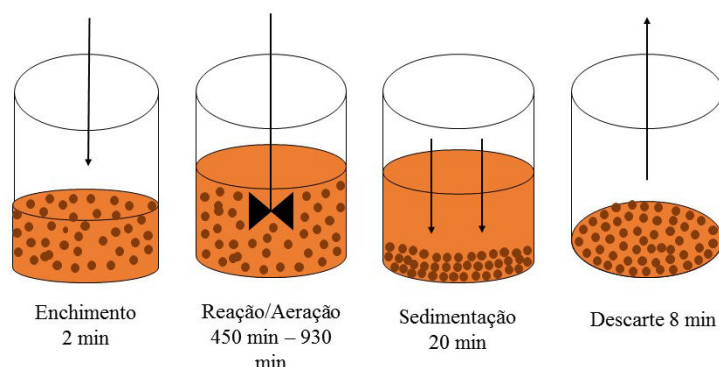


Figura 1. Fases operacionais

Segunda fase

Esta fase se caracterizou pela mudança da troca volumétrica do reator. Logo, o reator passou a operar com 4 litros no sistema seguindo-se os mesmos ciclos da primeira fase, sendo que o volume de descarte e alimentação foi estabelecido em 2 litros.

Terceira fase

Com 60 dias de operação do reator após a nova troca volumétrica, automatizou-se as operações de alimentação e descarte do reator. Foram utilizados temporizadores para controlar a sequência dos processos de acordo com os ciclos estabelecidos nas fases anteriores. A alimentação e descarte necessitaram da utilização de bombas, como apresentado na Figura 2.

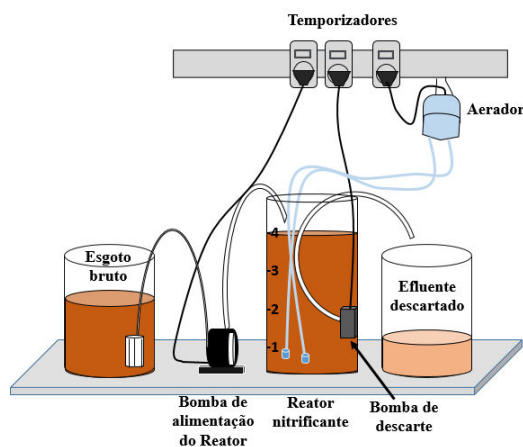


Figura 2. Reator em bateladas sequenciais com todas as fases automatizadas.

Quarta fase

Devido a constatação da interferência do pH baixo no efluente, por conta do elevado período de aeração/reação da etapa anterior, notou-se a necessidade de realizar mudança no ciclo operacional e na estrutura do sistema, para que fosse sanado o problema com a queda do pH. Então introduziu duas novas fases ao sistema: o período pré-Desnitrificante e pós-Desnitrificante. Com a adição dessas duas novas fases, fez-se necessário um sistema de mistura que foi obtido com um misturador mecânico acoplado ao esquema anterior, também automatizado, conforme apresentado na Figura 3.

O sistema agora possuía três ciclos com 8 horas de operação sendo a seguinte configuração: 30 minutos de alimentação, 50 minutos de período pré-Desnitrificante, 300 minutos de aeração/reação, 60 minutos de período pós-Desnitrificante, 30 minutos de sedimentação e 2 de minutos para descarte. Salienta-se que a incrementação dos períodos pós e pré Desnitrificantes tem a função de restabelecer o pH do meio, através da mistura que ocorrerá no reator, promovendo a desnitrificação que recupera metade da alcalinidade consumida durante a nitrificação.

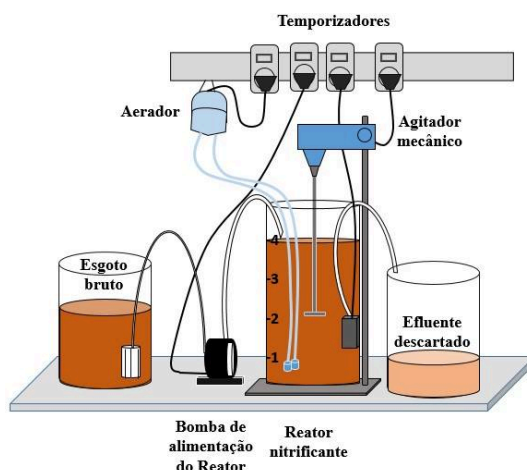


Figura 3. Reator em bateladas sequenciais com adição do período de mistura.

Quinta fase

Alterou-se a quantidade de ciclos diminuindo o período de aeração/reação e aumentou-se o tempo de mistura nas fases pré-D e pós-D. Essa mudança de ciclo ocorreu após 60 dias de operação do ciclo anterior, com os seguintes tempos de operação: 30 minutos enchimento, 90 minutos pré-Desnitrificante, 120 minutos aeração/reação, 90 minutos pós-Desnitrificante, 25 minutos sedimentação e 2 minutos o descarte do efluente (Figura 4).

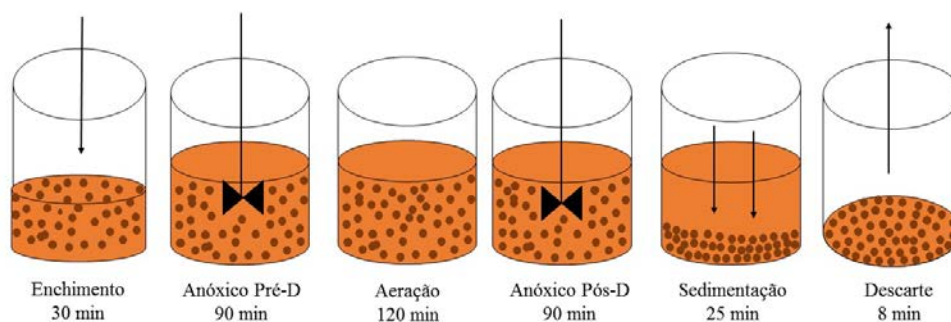


Figura 4. Fases operacionais.

Sexta fase

Caracteriza-se pela correção do pH afluente e diluição da amônia, tendo como justificativa a variação e a concentração elevada da carga nitrogenada no afluente, esta fase contém o mesmo ciclo da etapa anterior.

A Tabela 1 a seguir apresenta as características operacionais das fases descritas anteriormente.

Tabela 1. Descrição das características do reator em bateladas sequenciais.

| PÉRIODOS | 1ª FASE | 2ª FASE | 3ª FASE | 4ª FASE | 5ª FASE | 6ª FASE |
|----------------|---------|---------|---------|---------|---------|-------------|
| Enchimento | 2 mim | 2 mim | 2 mim | 30 min | 30 min | 30 min |
| Anóxico Pré-D | - | - | - | 50 min | 90 min | 90 min |
| Aeróbico | 450 mim | 450 mim | 450 mim | 300 min | 120 min | 120 min |
| Anóxico Pós-D | - | - | - | 60 min | 90 min | 90 min |
| Sedimentação | 20 mim | 20 mim | 20 mim | 30 min | 25 min | 25 min |
| Descarte | 8 min | 8 min | 8 min | 2 min | 2 min | 2 min |
| Ciclos | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| Horas | 8 horas | 8 horas | 8 horas | 8 horas | 6 horas | 6 horas |
| Duração (dias) | 60 | 60 | 30 | 60 | 155 | Atual (271) |

Métodos analíticos

Foram realizadas análises das variáveis de controle e monitoramento a fim de garantir as melhores condições para o cultivo e permanência das bactérias nitrificantes no sistema, conforme descrito no Quadro 1. Todos os parâmetros foram realizados conforme Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater APHA (2012), exceto a análise de nitrato que foi realizada pelo método do salicilato (RODIER et al. 1975)

Quadro 1. Parâmetros de monitoramento e controle do reator.

| Parâmetros de Monitoramento | | | |
|-----------------------------|-------------------------------------|------------------------|----------------------|
| Variáveis | Unidades | Métodos | Referência |
| Alcalinidade | mg/LCaCO ₃ | Potencimétrico 2320 B | APHA et al. (2012) |
| Nitrito | mg/L N-NO ₂ ⁻ | Colorimétrico 4500B | APHA et al. (2012) |
| Nitrato | mg/L N-NO ₃ ⁻ | Salicilato | Rodier et al. (1975) |
| Amônia | mg/L N-NH ₄ ⁺ | Titulométrico 4500 C | APHA et al. (2012) |
| SST e frações | gSVV/L | Gravimétrico 2549 D | APHA et al. (2012) |
| Parâmetros de Controle | | | |
| pH | - | Potencimétrico 4500-H+ | APHA et al. (2012) |
| Temperatura | °C | Infravermelho 2550 A | APHA et al. (2012) |
| Oxigênio dissolvido | mg O ₂ /L | Oximétrico 4500-O A. | APHA et al. (2012) |

Ensaio respirométricos

Foi utilizado o respirômetro Beluga modelo S32c, desenvolvido no Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG – Universidade Federal de Campina Grande (Catunda et al., 1996) do tipo aberto e aeração de forma semi-contínua. O aparelho transmite os dados de leituras de temperatura (°C), taxa de consumo de oxigênio (TCO) (mg/L) /h e oxigênio dissolvido (OD) (mgO₂/L).

O respirômetro realiza o cálculo da TCO através do método clássico. Para tal, é necessário realizar duas etapas de operação no reator, uma de aeração e outra de não aeração, e definir duas referências (inferior e superior) para concentração de OD. Na primeira etapa, o licor misto do reator do sistema em escala de bancada é aerado até que a concentração de OD atinja a referência superior. Nesse ponto, desliga-se a aeração, iniciando-se a segunda etapa. Na segunda etapa, observa-se a diminuição do valor da concentração de OD com o tempo, até que esta atinja uma referência inferior. Ao fim da segunda etapa, a TCO é calculada utilizando os dados adquiridos da diminuição da concentração de OD, através de regressão linear (DERKS, 2007).

Os testes respirométricos foram realizados para avaliar as reações das bactérias nitrificantes do lodo proveniente do reator ao fim da batelada, através da taxa de consumo de oxigênio (TCO) com a associação dos substratos sintético (cloreto de amônio, nitrato de sódio) como também mensurar a influência no metabolismo bacteriano de fatores ambientais. A Figura 5 apresenta o respirograma gerado pelo software, mostrando o comportamento das variáveis de OD e TCO que representam o metabolismo dos microrganismos envolvidos no processo de nitrificação. Observa-se na Figura 5 a TCO endógena do lodo que representa a medida mais baixa e constante do gráfico, referente a respiração endógena (quando o consumo de oxigênio se dá pela degradação de substrato presente na própria célula bacteriana) e após a adição dos substratos cloreto de amônio e nitrato de sódio que beneficia o crescimento das bactérias nitrificantes, houve resposta apresentando crescimento da TCO exógena, até o consumo total do substrato, que representa a respiração exógena (quando o consumo de oxigênio se dá pela degradação de substrato externo à célula bacteriana).

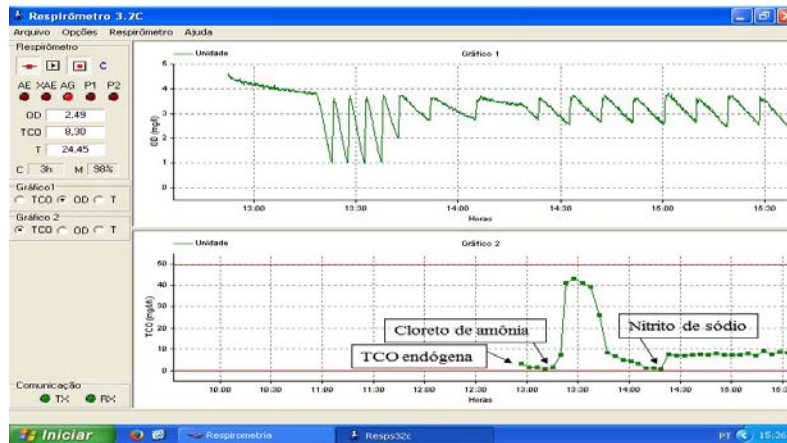


Figura 5. Respirograma com adição dos substratos para bactérias nitrificantes no licor misto do RBS.

RESULTADOS

Esgoto sintético

Com base na caracterização do esgoto bruto, foi realizado um ajuste na matriz do esgoto, pois o mesmo apresentava variações nas suas concentrações de matéria orgânica, alcalinidade e amônia. Foram ajustadas as concentrações de matéria orgânica necessária para desnitrificação do sistema e para crescimentos de bactérias heterotróficas que compõe o lodo para dar suporte às bactérias nitrificantes e a diluição da amônia que está juntamente relacionada com a alcalinidade. De acordo com SANT'ANNA JR (2010), cerca de 7,4 kg de alcalinidade (CaCO_3) são consumidas por kg de amônia oxidada. Na Tabela 2, apresenta-se os resultados das concentrações do esgoto bruto e do esgoto ajustado.

Tabela 2. Concentrações de esgoto bruto e ajustado

| Variáveis | Número de determinações | Desvio padrão | Coefficiente de variação | Unidade | Bruto | Ajustado |
|--------------|-------------------------|---------------|--------------------------|---------|--------|----------|
| DQO | 56 | 101,23 | 0,43 | mg/L | 236,59 | 300,0* |
| Alcalinidade | 41 | 110,90 | 0,24 | mg/L | 465,93 | 470,00 |
| Amônia | 63 | 24,99 | 0,26 | mg/L | 95,31 | 60,0* |

Os resultados dos parâmetros analisados no reator em bateladas sequenciais, as condições operacionais e a composição do esgoto afluente e efluente estão apresentadas na Tabela 3. Os resultados de pH e das frações de nitrogênio foram avaliados separadamente, pois são os parâmetros cruciais na caracterização da nitrificação no reator.

Não houve variações nos valores de temperatura mantendo em faixa ótima para o crescimento das bactérias nitrificantes (25°C - 30°C). O oxigênio dissolvido (OD) no período de aeração variou entre 1,0 e 3,99 mgOD/L. A concentração de sólidos suspensos voláteis (SSV) no licor misto ficou entre 0,75 e 3,56 g/L.

Tabela 3. Condições operacionais e a composição do esgoto afluente e efluente.

| CONDIÇÕES OPERACIONAIS | | CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE E EFLUENTE | | | |
|----------------------------|----------|---------------------------------------|----------|--------|----------|
| Parâmetro | Valor | Parâmetro | Afluente | Reator | Efluente |
| Temperatura (°c) | 27,7 | NH ₄ ⁺ (mg/L) | 60,0 | - | 2,0 |
| Oxigênio dissolvido (mg/l) | 1,0-3,99 | NO ₂ ⁻ | 0,05 | - | 5,14 |
| TDH (horas) | 6,0 | NO ₃ ⁻ (mg/L) | 0,14 | - | 21,0 |
| Troca volumétrica | 50% | Alc (mg/L) | 470,0 | - | 220,39 |
| | | pH | 9,0 | - | 8,0 |
| | | SSV (g/L) | | 1,2862 | 0,113 |

Um dos maiores inibidores do processo de nitrificação no sistema foi o pH, nesta 6ª fase o mesmo foi monitorado no sistema em seus distintos períodos: esgoto bruto, esgoto ajustado, aeração, pré e pós desnitrificação e saída. Através da Figura 7 pode-se inferir a queda abrupta no pH no momento da aeração, onde o pH de entrada (ajustado) se encontra em média 9,0 caindo para 8,1, porém, não prejudicando o sistema pois a nitrificação se estabelece em um pH próximo a neutralidade entre 7,5 e 8,5. Infere-se que sem o ajuste do pH afluente, no período de aeração no sistema o pH poderia ficar abaixo da faixa recomendada para a nitrificação, pois o consumo de alcalinidade pode superar a capacidade tampão do meio e assim reduzi consideravelmente o valor do pH. De acordo com FERREIRA, (2000) a taxa de nitrificação pode cair significativamente se o pH é reduzido abaixo da zona neutra, e que para uma ótima performance o melhor é manter o pH na faixa de 6,5 a 8,0. A figura 6 apresenta a influência do pH na taxa de nitrificação.

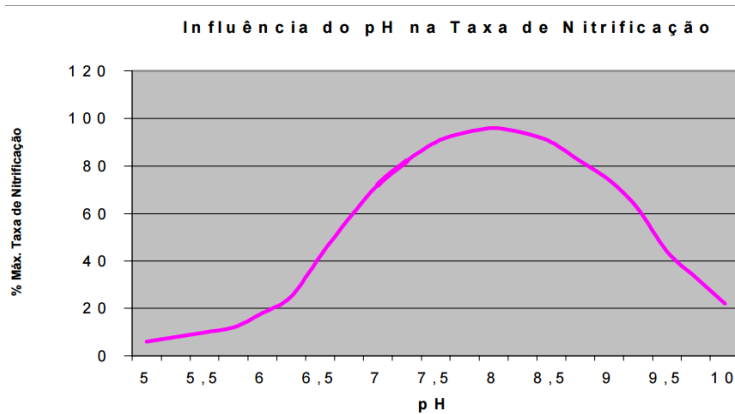


Figura 6. Influência do pH na Taxa de Nitrificação, adaptado Ferreira (2000).

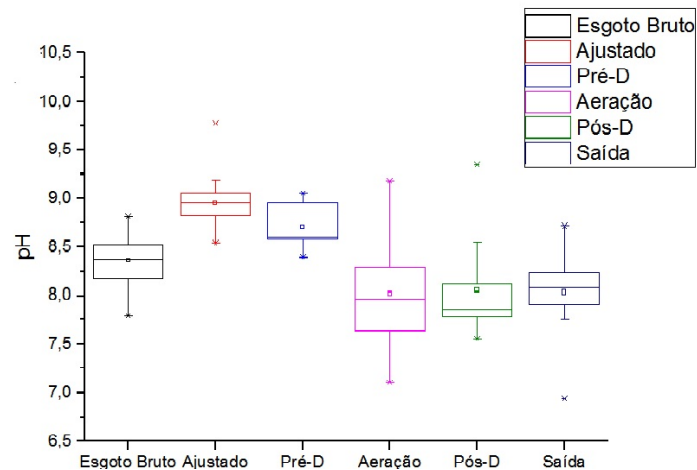


Figura 7. Média dos valores de pH nos distintos períodos do sistema.

As Figuras 8, 9 e 10 apresentam as concentrações de entrada e saída do reator das frações de nitrogênio amônia ($N-NH_4^+$), nitrito ($N-NO_2^-$) e nitrato ($N-NO_3^-$) onde é possível constatar o processo de nitrificação convencional, pois a entrada de amônia é em média 60 mg/L sendo convertida em nitrito e posteriormente a nitrato, onde no efluente apresentou concentrações médias de 21 mg/L de nitrato. Pode-se perceber a relação do nitrito e nitrato, pois quando a um efluente com elevada concentração de nitrito as concentrações de nitratos são baixas, e quando a uma elevada concentração de nitrato no efluente as concentrações de nitritos são baixas, pode-se comparar este comportamento através das análises dos gráficos (Figura 9 e 10) inferindo a instabilidade da nitrificação no sistema.

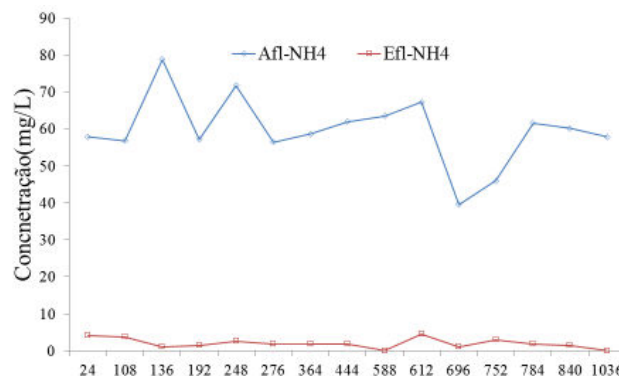


Figura 8. Concentração da amônia afluente e efluente.

Analisando as concentrações de nitrogênio amoniacal, estas ficaram em média 60,0 mg/L variando de no máximo 78,77 mg/L e mínimo 39,57 mg/L. O reator obteve uma nitrificação estável, alcançando média de amônia abaixo de 2,0 mg/L. A eficiência de remoção de amônia apresentou-se em média de 96,66%.

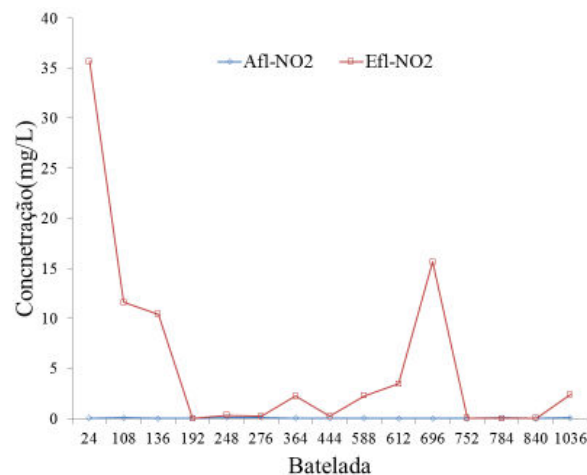


Figura 9. Concentração do nitrito afluente e efluente.

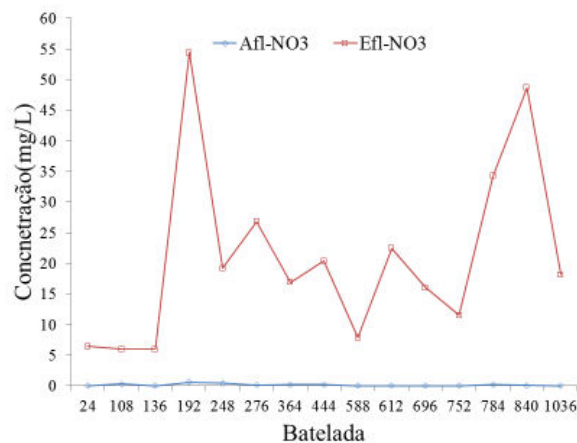


Figura 10. Concentração de nitrato afluente e efluente.

As médias de nitrato variam bastante no sistema, apresentando-se em média 21,0 mg/L no efluente. As bactérias que oxidam nitrito encontram-se em menor proporção na comunidade de bactérias nitrificantes, as mesmas também são mais sensíveis as condições ambientais, fator este que pode ter causado a instabilidade da nitratação no sistema.

CONCLUSÕES

A nitrificação convencional começou a se estabelecer no sistema após 48 dias de operação na 6ª fase. Provando que os ajustes nas fases operacionais do reator foram necessários, pois apenas na última verificou um efluente com nitrato. O maior problema no sistema foi a queda do pH, caindo bruscamente no período de aeração, e conseqüentemente provocando o decaimento das bactérias no sistema.

O controle do pH é indispensável para uma boa operação de sistemas, principalmente quando se quer cultivar bactérias nitrificantes que são bastantes sensíveis a pH fora da faixa aceitável, levando em consideração que as mesmas levam de 15 a 20 dias para crescerem após morrem por condições desfavoráveis de pH.

É possível cultivar bactérias nitrificantes no reator em bateladas sequenciais, só que com um delicadíssimo monitoramento, principalmente com o pH.

É possível estabelecer a nitrificação completa mesmo utilizando um afluente com as características inadequadas para esse processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABREU, Aloysio Ferraz de et al. Uso da respirometria para determinação experimental da cinética de nitrificação. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, ed. XXVII.
2. APHA; AWWA; WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Washington, DC, 22th ed. 2012
3. DERKS, Y. M. Uso da respirometria para avaliar a influência de fatores operacionais e ambientais sobre a cinética de nitrificação. 2007. 100 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.
4. EKAMA, G. A. Recent developments in biological nutrient removal †. v. 41, n. 4, p. 515–524, 2015.
5. FERREIRA, E. S. Cinética química e fundamentos dos processos de nitrificação e denitrificação biológica. In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27, 2000, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre: UFRGS, 2000. p.1-25.
6. SANT'ANNA, G. L. Jr. Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações. Ed. Interciência. 1 ed. Rio de Janeiro 2010.
7. RODIER, J. Análisis de las aguas. Editora Omega, Barcelona, 1981,1057 p.
8. SANTOS, Silvânia Lucas dos. Estudo comparativo dos métodos contínuo e semicontínuo de determinação da taxa de consumo de oxigênio. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.2013.
9. VAN HAANDEL, A. C., MARAIS, G. v. R. (1999). O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operações. Campina Grande: epgraf, 472 p.