

II-157 - ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE UM RSB NO TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

Ramiro Pereira Bisognin⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC). Mestrando em Tecnologia Ambiental na UNISC. Pós Graduando em Engenharia de Segurança do Trabalho na UNISC.

Diosnel Antonio Rodriguez Lopez⁽²⁾

Engenheiro de Minas pela UFOP. Mestre em Metalurgia Extrativa pela UFRGS. Doutor em Engenharia pela TU-Berling. Professor do Programa de Pós Graduação em Tecnologia Ambiental (PPGTA) – Mestrado, UNISC.

Endereço⁽¹⁾: Rua Aquidabam, 795 - Centro – Encruzilhada do Sul – Rio Grande do Sul - CEP: 96610-000 - Brasil - Tel: (51) 84570958 - e-mail: ramirobisognin@yahoo.com.br

RESUMO

O presente trabalho objetivou a construção e operacionalização de um sistema alternativo compacto e automatizado de tratamento de efluentes urbanos para residências familiares, baseado em um reator seqüencial em batelada (RSB) compartimentado. Este reator foi concebido com um tanque pulmão anaeróbio para armazenamento do efluente, o qual é bombeado para um compartimento de aeração, que permite trabalhar primeiramente sob condição aeróbia seguida de condição anóxica, quando a aeração é cessada. O efluente tratado foi posteriormente desinfetado em reatores de luz ultravioleta.

O RSB foi implantado na área da estação de tratamento de efluentes da UNISC e utilizou como efluente o esgoto gerado na própria universidade. Os resultados obtidos demonstraram que o tanque pulmão gera condições anaeróbias e modifica as características físico-químicas do efluente a tratar, principalmente pela diminuição da carga orgânica. Os ensaios de operacionalização mostraram que para o tratamento do efluente o tempo ótimo de aeração é de seis horas e o de decantação de duas horas. Essas duas horas de sedimentação permitem o estabelecimento de um ambiente anóxico no compartimento de aeração/decantação, o qual proporciona ótimas condições de desnitrificação do efluente aerado. Esta forma de operação permitiu os seguintes percentuais de redução média dos parâmetros analisados: DBO em 65% e DQO em 50%. O $\text{NH}_4^+\text{-N}$ apresentou uma redução média de 74% e o NTK 67%. O equilíbrio percentual entre as maiores e menores reduções de fósforo do efluente ficou em 58 %, após o efluente percorrer todas as etapas do tratamento. A redução dos sólidos suspensos totais e da turbidez foi da ordem de 67%, enquanto as concentrações de óleos e graxas decresceram em torno de 95%. Com relação aos coliformes termotolerantes houve uma redução de 82,5% somente na etapa do tratamento biológico, e após a etapa de desinfecção a eliminação dos mesmos atingiu os 99,99%, demonstrando a eficiência dos reatores de luz ultravioleta. Portanto, o sistema desenvolvido apresentou resultados satisfatórios na remoção de carga orgânica e redução de nutrientes que conferem eutrofização aos corpos receptores, devido às diferentes concentrações de oxigênio dissolvido às quais o efluente foi exposto durante as fases do processo.

PALAVRAS-CHAVE: RSB, Tratamento de Efluentes, Nitrificação e Desnitrificação.

INTRODUÇÃO

Considerada um bem comum a todos os seres vivos, a água é fundamental para a sobrevivência dos animais e vegetais, e em decorrência dos seus diversos usos, perde sua qualidade. Portanto é interessante citar a distribuição desse bem no Planeta. Ela abrange quase 80% da superfície terrestre, deste percentual, 97% referem-se a águas salgadas e os 3% restantes a águas doces. Dentre as águas doces, 2,7% são formadas por geleiras, vapor de água e lençóis existentes em grandes profundidades, não sendo economicamente viável seu aproveitamento para o consumo humano. Em conseqüência, constata-se que somente 0,3% do volume total de água do planeta podem ser aproveitados para nosso consumo, sendo 0,01% encontrada em fontes de superfícies, como rios e lagos, e o restante, ou seja, 0,29%, em fontes subterrâneas, como poços e nascentes (GRASSI, 2001).

Desde a história antiga observa-se a poluição de origem antrópica, a qual veio agravando-se com o passar dos anos, devido o aumento desordenado da população. Os rejeitos domésticos e sanitários não tratados constituem-se em importante fonte de poluição das águas, pois os recursos hídricos recebem a maior parte das descargas de dejetos líquidos provenientes de atividades e necessidades humanas. Em consequência desse lançamento, aparece a possibilidade de virem a serem gerados certos inconvenientes, como, por exemplo, o desprendimento de maus odores, o sabor estranho na água potável, mortandade de peixes e outros. Tal poluição dos recursos hídricos é responsável por doenças como, cólera, febre tifóide, disenteria e hepatite infecciosa, todas podendo ser disseminadas por veiculação hídrica (ROCHA et. al., 2004).

O esgoto, termo utilizado para caracterizar os despejos provenientes dos diversos usos da água, como o doméstico, o comercial, industrial, agrícola e outros, está composto principalmente por substâncias orgânicas biodegradáveis e persistentes e também por nutrientes eutrofizantes, e quando tratado, leva ao desenvolvimento de biomassa em vários níveis tróficos.

A falta de espaço físico nos centros urbanos e industriais, aliadas as exigências relativas aos padrões de lançamento de efluentes nos corpos receptores, e à procura pelo menor custo de estações de tratamento de efluentes, impulsionam o desenvolvimento de pesquisas com o objetivo de incorporar novas tecnologias de tratamento.

A utilização de Reatores Sequenciais em Batelada (RSB) foi incrementada a partir da década de 80, em função do desenvolvimento tecnológico na área de eletromecânica. A facilidade de automação da operação e monitoramento do comportamento do reator em batelada contribuiu para o aumento na estabilidade operacional, economia de energia e redução nos gastos com mão-de-obra. Esses reatores têm sido estudados, nos últimos anos, com fim de remover matéria carbonácea e nutrientes em um único ciclo de operação, conforme descreve Barbosa (2004), ao citar Artan et. al (2001). Cada ciclo funciona com diferentes fases, quais sejam: enchimento, reação anaeróbia (concentração de O_2 igual a 0 mg.L^{-1}) anóxica (concentração de O_2 entre $0,1$ e 2 mg.L^{-1}), aeróbia (concentração de O_2 superior a 2 mg.L^{-1}), sedimentação, descarga e repouso ou polimento final.

Tendo em vista, a oferta de água “aproveitável” da superfície terrestre, a degradação que esta vem sofrendo nas últimas décadas, a redução do espaço físico nos centros urbanos e a possibilidade de tratar efluentes sanitários, tem-se a necessidade de melhorar o gerenciamento e o tratamento dos esgotos domésticos, otimizando os já existentes e desenvolvendo sistemas de baixo custo com eficiência ambiental satisfatória. Portanto o presente estudo, abordando tema de grande relevância, focaliza-se na elaboração, desenvolvimento, análise funcional e efetiva de um sistema automatizado e compacto de saneamento urbano baseado no tratamento de efluentes por Reator Sequencial em Batelada, anaeróbio-aeróbio, para remoção de matéria orgânica e de nutrientes eutrofizantes.

MATERIAIS E MÉTODOS

A metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, baseou-se em três etapas. A primeira etapa foi descrever o local e a fonte geradora utilizada nos ensaios do sistema. Numa segunda etapa foram descritos aspectos de concepção do sistema. Os equipamentos utilizados para a obtenção dos resultados dos diferentes parâmetros analisados constituem a terceira etapa.

Para testar o sistema projetado foi escolhida a área da estação de tratamento de efluentes da Universidade de Santa Cruz do Sul e utilizou-se o esgoto gerado na Universidade.

O sistema de tratamento construído é constituído de um RSB retangular de $2,0\text{m} \times 1,0\text{m} \times 1,5\text{m}$, com volume total de 3000 litros, conforme Figura 1. O mesmo é dividido em dois compartimentos sendo que o primeiro comporta 2250 litros e o segundo 750 litros. O primeiro tanque serve como armazenagem do efluente, conferindo-lhe a degradação inicial por anaerobiose. O material ali acumulado é bombeado para o segundo tanque onde é submetido a bombeamento em circuito fechado, mantendo condições aeróbias aos microorganismos (lodo ativado) que farão o tratamento do efluente. A aeração é facilitada devido à implantação de dois tubos de Pitot, que insuflam ar, dispostos concêntricamente na tubulação responsável por recircular o efluente. Após o tempo de arejamento o lodo formado é deixado decantar e o esgoto tratado é removido. Todo o processo é controlado por um comando eletrônico, que regula o bombeamento, o volume

dos tanques e os processos que constituem o tratamento. O sistema possui duas bombas hidráulicas, chaves eletromagnéticas (contadoras) de acionamento, três válvulas solenóides e quatro sensores de nível. Este conjunto está ligado a um CLP (Comando Lógico Programável) e a uma Interface Homem-Máquina (IHM), sendo que as fases do processamento foram delimitadas por meio de temporização e/ou sensores de nível.

Após sair do RSB foram realizados testes de desinfecção do efluente, sob vazão de $50 \text{ mL}\cdot\text{s}^{-1}$, em três células com lâmpadas de luz ultravioleta de 30 watts de potência cada, ligadas em série. Os reatores utilizados foram de aço inoxidável, com um volume de 4,7 litros cada.

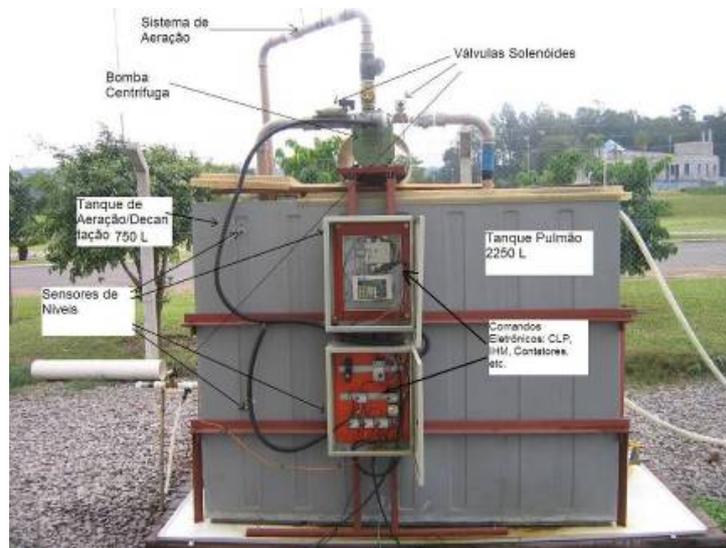


Figura 1: Reator Sequencial em Batelada Automatizado.

As análises de parâmetros como Demanda Química de Oxigênio (DQO total), DQO dissolvida, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO instantânea), Carbono Orgânico Total (COT), Turbidez, Sólidos Suspensos Totais (SST), Amônio (NH_4^+), Nitrogênio Amoniacal ($\text{NH}_4^+\text{-N}$), Nitrato (NO_3^-), Nitrogênio Nitrato ($\text{NO}_3^-\text{-N}$) e Temperatura, foram realizadas com um equipamento denominado Multiparâmetros IQ SensorNet da WTW. Este IQ Sensor utiliza uma sonda CarboVis 700/5 IQ que é um sensor on-line para determinações in-situ de compostos de carbono a partir da espectrometria de luz UV-Visível. Para a determinação dos compostos de nitrogênio, o mesmo aparelho utiliza uma sonda do tipo VARION PLUS 700 IQ. A leitura de parâmetros como turbidez, SST e temperatura é feita por uma terceira sonda Viso Turb 700IQ que também compõe o equipamento. Para as leituras de pH utilizou-se um pHmetro da pHTEK (modelo PHS-3B), para as de condutividade utilizou-se um condutivímetro da DIGIMED (modelo DM-32), e para a determinação de oxigênio dissolvido (OD), um oxímetro da DIGIMED (modelo DM-4). Análises de parâmetros como NTK, óleos e graxas, fósforo e coliformes termotolerantes foram realizadas na Central Analítica da UNISC, laboratório credenciado na Fundação Estadual de Proteção Ambiental (FEPAM), que segue os procedimentos do Standardt Methods For The Examiantion of Water and Wastewater (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O sistema de tratamento desenvolvido apresenta condições favoráveis e facilitadoras para a proliferação dos microrganismos responsáveis por tratarem o esgoto, já que é possível obter no tanque de aeração valores de oxigênio dissolvido (OD) de até $6,5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, o qual foi ajustado, como recomenda Claas (2007), para $3 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, através do fechamento de um dos tubos de Pitot implantados para facilitar a aeração. Outro fator favorável à proliferação dos microrganismos é a elevação da temperatura do efluente em tratamento com relação ao efluente bruto, cerca de 6°C , devido o atrito com a tubulação e com o rotor da bomba durante a etapa de aeração, deve-se considerar também a liberação de calor resultante do metabolismo dos microrganismos.

Durante os primeiros ensaios foi constatado que o efluente bruto possuía valores que variavam constantemente. Isso se deve principalmente a que o esgoto da Universidade recebe uma maior carga orgânica durante a noite, onde se concentra a maior parte dos alunos. Dessa forma, decidiu-se monitorar a qualidade do efluente bruto

para poder compará-lo com os parâmetros obtidos no efluente tratado. Nos Quadros 1 e 2, respectivamente, se encontram detalhados os valores do efluente bruto medidos em diferentes dias. Os valores do Quadro 2 são de parâmetros analisados de forma menos frequente por meios de análises tradicionais.

Quadro 1: Parâmetros analisados no efluente bruto

Parâmetro	Mínimo	Média	Máximo
DBO (mg.L ⁻¹)	90,00	147,40	190,10
DQO total (mg.L ⁻¹)	70,20	169,39	199,20
DQO dissol. (mg.L ⁻¹)	46,70	73,59	89,60
COT (mg.L ⁻¹)	149,50	252,00	389,50
NH ₄ ⁺ -N (mg.L ⁻¹)	26,80	56,45	76,10
NO ₃ ⁻ -N (mg.L ⁻¹)	0,10	0,33	0,70
pH	7,87	8,12	8,30
SST (mg.L ⁻¹)	25,00	78,30	150,00
Turbidez (NTU)	45,00	89,00	160,00

Quadro 2: Parâmetros analisados mais esporadicamente no efluente bruto

Parâmetro	1ª Amostra	2ª Amostra
N total (mg.L ⁻¹)	104	97
P (mg.L ⁻¹)	7,17	6,72
Coliformes Termotolerantes (NMP/100 mL)	350.000	>1.600.000
Óleos e Graxas (mg.L ⁻¹)	8,7	21,5
K (mg.L ⁻¹)	26,6	12,0
ST (mg.L ⁻¹)	725	535
STD (mg.L ⁻¹)	492,5	385
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	156,7	189

Esses valores mostram que as características do esgoto bruto são muito variáveis. Uma observação importante que pode ser feita sobre o esgoto utilizado é que o mesmo se apresenta muito diluído uma vez que os valores de DBO, DQO e COT mostram-se baixos. Outra observação importante que pode ser feita sobre as características do esgoto bruto é que ele é rico em compostos nitrogenados. A concentração total destes compostos é superior a 100 mg.L⁻¹, sendo que a concentração de nitrogênio amoniacal foi de até 76,1 mg.L⁻¹ e a do nitrogênio nitrato foi de 0,7 mg.L⁻¹. Essa observação pode indicar que a descarga dos banheiros é principalmente composta por urina antes que fezes.

O pH do esgoto não apresenta grandes variações. O valor desse parâmetro ficou sempre acima de 7,8, atingindo em determinados momentos, o valor de 8,5.

Com o intuito de determinar os tempos adequados de tratamento dos efluentes para a remoção da matéria orgânica e de nutrientes, vários tempos de aeração e de decantação foram pesquisados. Nas Figuras 2 e 3 estão apresentados os valores dos parâmetros analisados em cada um desses ensaios.

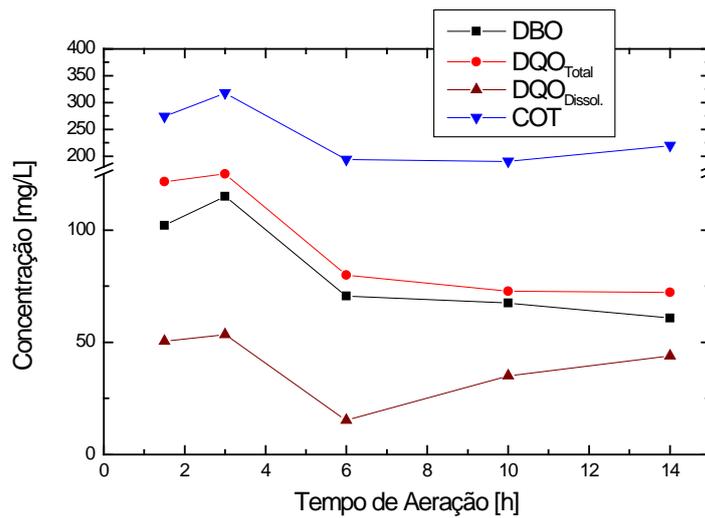


Figura 2: Variação dos parâmetros representativos de M.O. em função do tempo de aeração.

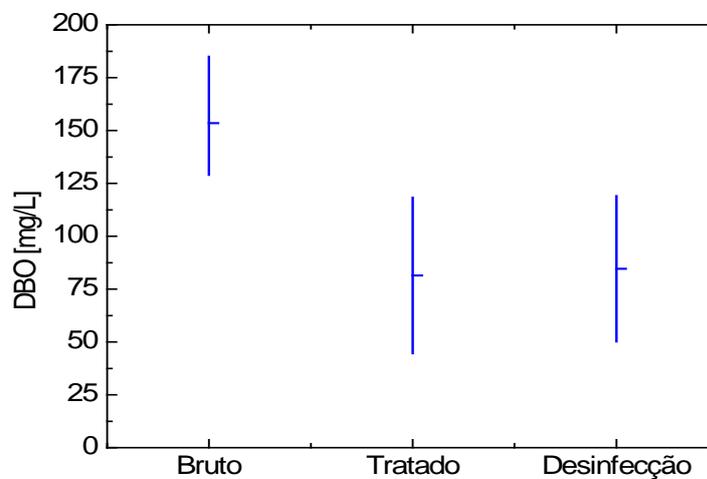


Figura 3: Variações da DBO após o tratamento biológico e desinfecção.

Os resultados apresentados na Figura 2 mostram que a remoção da matéria orgânica é diretamente proporcional ao tempo de aeração. Isso se verifica claramente no intervalo de 0 à 6h. A partir deste ponto a aeração do efluente não produz mais efeito significativo na redução desses valores, visto que a matéria orgânica mais facilmente biodegradável já foi convertida em biomassa. Desta forma o consumo energético inviabiliza a continuação da aeração. Através da visualização da Figura 3, pôde ser observado que a DBO apresentou uma redução média de 65,4% após as 6 horas de aeração, demonstrando de forma clara que no processo aeróbio as bactérias consomem e/ou transformam compostos orgânicos em biomassa, reduzindo a concentração desses compostos do efluente, após o RSB.

O efluente biologicamente tratado demonstrou um pequeno aumento no valor médio da DBO após a passagem pelos reatores de luz UV. Este aumento está associado com o efeito da luz UV sobre a biomassa arrastada pelo efluente tratado durante a sua drenagem no RSB. O contato da biomassa com a luz UV provoca o rompimento das células dos microrganismos e com isso tem-se a liberação da matéria orgânica (ainda não assimilada) presente neles.

A redução da DQO, não está expressa graficamente, pois apresentou o mesmo comportamento que a DBO, no entanto, com uma redução da ordem de 50%. Essa redução mostra que em torno de 50% do carbono orgânico presente no efluente se encontra na forma de carbono biodegradável. Os 50% restantes provavelmente se encontrariam na forma de matéria carbonosa inerte ou não processada biologicamente.

A Figura 4 mostra a variação da turbidez e do SST em função do tempo de aeração.

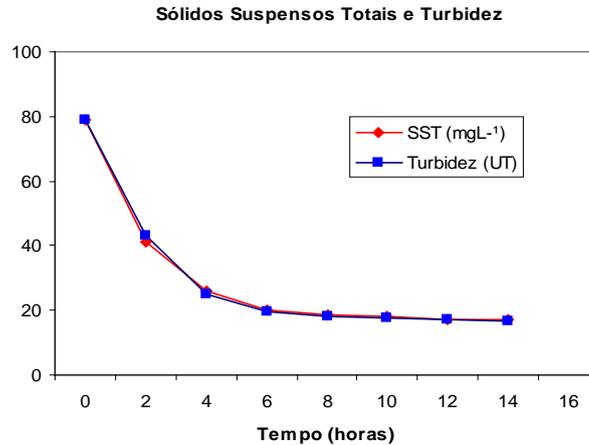


Figura 4: Concentração Final do SST e Turbidez em função do tempo de aeração.

A Figura 4 mostra que a redução dos sólidos suspensos totais e da turbidez dependem diretamente do tempo de aeração. A redução de sólidos no efluente está relacionada com a maior conversão de matéria orgânica para biomassa, atingindo, após 6 horas, um valor limite. O tempo inferior a 6 horas não foi suficiente para as bactérias metabolizarem a matéria orgânica, e o tempo superior a seis horas não repercutiu em resultados que justificassem a continuação da aeração. Observou-se que a biomassa gerada em menos de 6 horas de aeração, não teve capacidade de sedimentar, drenando-se junto com o efluente descartado, portanto definiu-se como tempo ótimo de aeração seis horas e de decantação duas horas.

O comportamento dos óleos e graxas está apresentado na Figura 5. De acordo com esta Figura o processo de lodos ativados remove totalmente a concentração destes compostos.

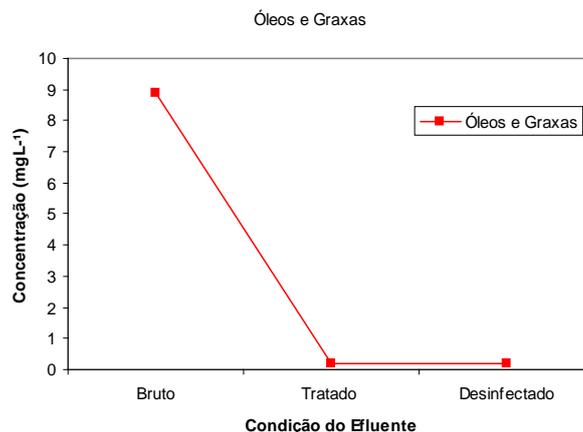


Figura 5: Variações da DBO após o tratamento por aerobiose e desinfecção.

A Figura 6 demonstra o comportamento do composto $\text{NH}_4^+\text{-N}$, onde é possível observar que sua concentração no efluente decresce em 81,84% após o tratamento aeróbio. É interessante ressaltar que os maiores valores de $\text{NH}_4^+\text{-N}$, analisados no efluente tratado foram medidos em épocas de temperaturas abaixo dos 20°C. Isso mostra que a taxa de remoção do nitrogênio amoniacal por meio da nitrificação e desnitrificação se vê fortemente influenciada pela temperatura, sendo que o mesmo é beneficiado por temperaturas mais elevadas. Segundo Iamamoto (2006) a velocidade de desnitrificação diminui com o decréscimo da temperatura, cujo valor ótimo está entre 25°C e 35°C, sendo que a faixa ótima está entre 30 e 36°C.

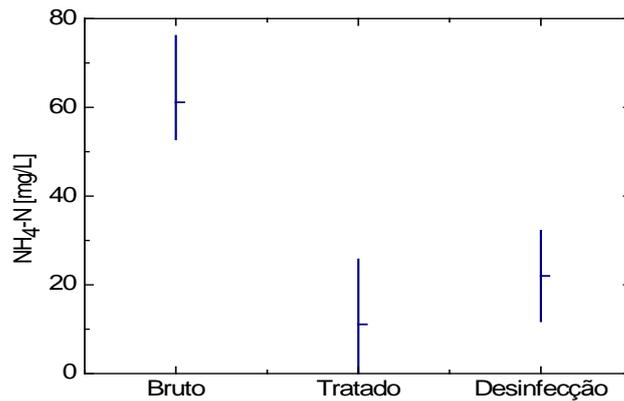


Figura 6: Comportamento do $\text{NH}_4^+\text{-N}$ após o tratamento por aerobiose e desinfecção.

A redução do $\text{NH}_4^+\text{-N}$ no efluente tratado mostra que o mesmo é oxidado no processo aeróbio, transformando-o em nitrogênio nitrato ($\text{NO}_3^-\text{-N}$). Dessa forma o processo aeróbio transforma o $\text{NH}_4^+\text{-N}$ em produtos de fácil remoção no efluente. O aumento da concentração deste composto após a desinfecção pode ser explicado pelo efeito da luz UV sobre a biomassa. Como o nitrogênio é um nutriente, os microrganismos presentes nos tratamentos assimilam o nitrogênio amoniacal e o incorporam em massa celular. Parte deste nitrogênio irá retornar à água residuária devido à morte e lise celular, que pode ser causada pela luz UV ou pelos oxidantes que a mesma gera na água. O erro de $\pm 10\%$ nas medições da sonda de monitoramento pode ser desprezado neste caso, já que a variação foi maior. A transformação de $\text{NH}_4^+\text{-N}$ em $\text{NO}_3^-\text{-N}$ é confirmada na Figura 7.

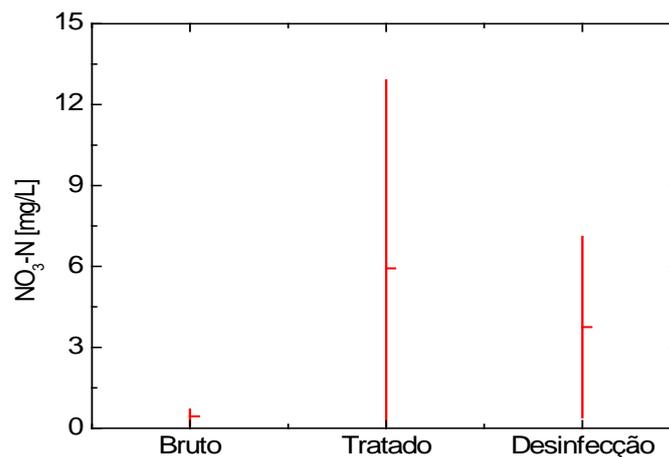


Figura 7: Comportamento do $\text{NO}_3^-\text{-N}$ após o tratamento por aerobiose e desinfecção.

O valor do $\text{NO}_3^-\text{-N}$ no efluente bruto variou entre 0,1 e 0,5 mg.L^{-1} . Já no efluente tratado a sua concentração média final foi de 6 mg.L^{-1} , atingindo valores de até 12,5 mg.L^{-1} . Este composto é formado durante a oxidação do $\text{NH}_4^+\text{-N}$ na etapa aeróbia. Quando o sistema entra na etapa de decantação, cuja duração é de 2 horas, o processo passa à condição anóxica (OD aproximadamente 0,2 mg.L^{-1} após 30 minutos de decantação), onde os microrganismos se encarregam de consumir o oxigênio presente na fórmula do $\text{NO}_3^-\text{-N}$ nos filmes biológicos, fazendo com que o nitrogênio seja reduzido a compostos gasosos e desprenda-se do efluente para a atmosfera. Os valores de nitrogênio nitrato analisados ainda após a desinfecção mostram que o mesmo não foi removido totalmente na etapa anóxica do processo. Por outro lado deve-se considerar que o a oxidação do $\text{NH}_4^+\text{-N}$ em $\text{NO}_3^-\text{-N}$ na etapa de aeração não alcança 100% (vide Figura 6). Dessa forma, o $\text{NH}_4^+\text{-N}$ pode estar sendo

oxidado a NO_3^- -N durante a desinfecção, uma vez que nesta etapa a luz UV gera oxidantes capazes de transformar a amônia em nitrato.

Quanto ao nitrogênio total Kjeldahl (NTK), considerou-se uma média entre os sete valores obtidos nos laudos de análise, e constatou-se uma redução de aproximadamente 67 % desse parâmetro (vide Figura 8), visto que a concentração média de NTK no efluente bruto foi de $34,6 \text{ mg.L}^{-1}$ e a concentração de NTK no efluente de descarte, após passar por todo tratamento, foi de $11,5 \text{ mg.L}^{-1}$.

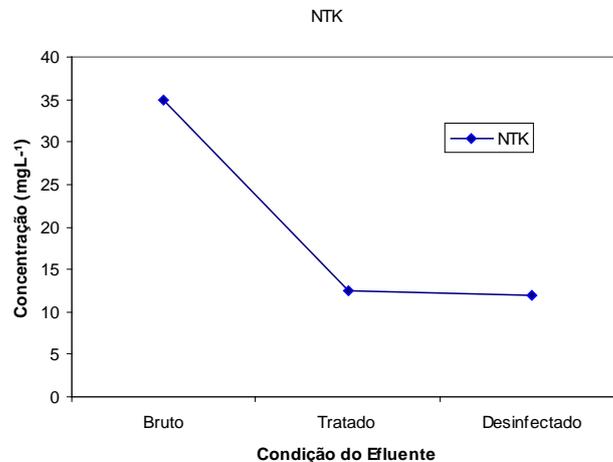


Figura 8: Redução de NTK.

Na Figura 9 se observa que o fósforo é reduzido em 53% durante o tratamento no tanque aeróbio do processo e após passar pela desinfecção sua redução chega a 72% em relação ao valor bruto.

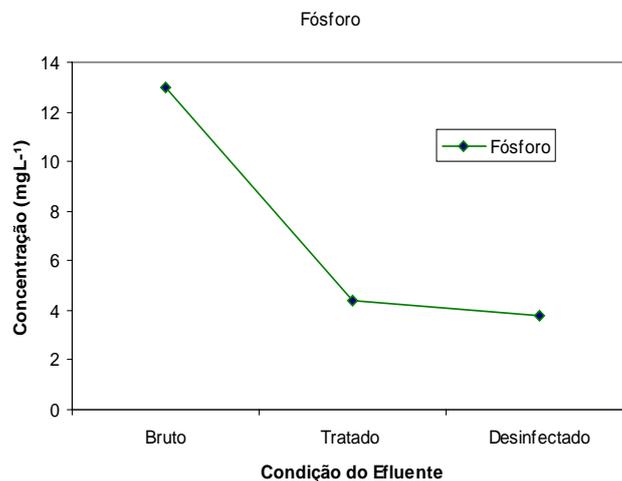


Figura 9: Redução de Fósforo.

Com relação aos coliformes termotolerantes, representados na Figura 10, o valor de NMP/100 mL se reduz no processo biológico em 82,5% passando de maior que 1.600.000, no efluente bruto, para 280.000 no efluente tratado. Porém, eles são eliminados durante o processo de desinfecção, quando o valor fica abaixo de 20 NMP/100 mL, valor mínimo de mensuração pelo laboratório. Duas outras análises realizadas, que não apresentam seus resultados detalhados neste trabalho, comprovaram o mesmo resultado final.

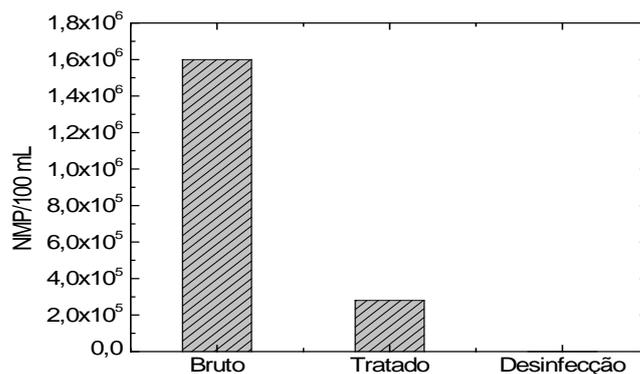


Figura 10: Redução de Coliformes Termotolerantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema de tratamento de esgotos desenvolvido atingiu o objetivo proposto, pois operou de forma automática, dispensando a presença de um operador em período integral e ocupou menor espaço físico que sistemas convencionais.

A adoção da estratégia de realizar análises com diferentes períodos para as etapas de tratamento do reator sequencial em batelada permitiu definir-se o tempo ótimo de operação. Com este tempo ótimo de operação obteve-se uma redução média de DBO em 65% e DQO em 50% durante o tratamento biológico. Os sólidos suspensos totais e a turbidez também apresentaram reduções na ordem de 67% durante a aeração do efluente, enquanto as concentrações de óleos e graxas decresceram em torno de 95% nesta mesma etapa. O equilíbrio percentual entre as maiores e menores reduções de fósforo do efluente ficou em 58%, após o efluente percorrer todas as etapas do tratamento. Os coliformes termotolerantes apresentaram uma redução de 82,5% somente na etapa do tratamento biológico, e após o efluente passar pelo sistema de desinfecção com três reatores de luz ultravioleta, esses coliformes mostraram uma redução de 99,99%. Portanto o sistema desenvolvido apresentou ótimos resultados na remoção de carga orgânica e redução de nutrientes que podem levar à eutrofização dos corpos receptores. Desta forma torna-se um sistema de referência no tratamento de efluentes sanitários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WPCF, Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater, 15 ed. Washington, DC: American Public Health Association, Water Works Association, Water Pollution Control Federation, 1995.
2. BARBOSA, Suzele Rosa. Tratamento de Efluentes em Reator de Leito Fluidizado Sequencial em batelada. 2004. 163 pág. Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
3. CLAAS, Isabel Cristina. Lodos Ativados – Princípios Teóricos e Fundamentais, Operação e Controle. Editora Evangraf. Porto Alegre, 2007.
4. GRASSI, M.T. *As águas do planeta terra*. Caderno Temático Química Nova na Escola: Química Ambiental. São Paulo, SBQ, maio de 2001.
5. IAMAMOTO, Cristina Yuriko. Remoção de nitrogênio de águas residuárias com elevada concentração de nitrogênio amoniacal em reator contendo biomassa em suspensão operado em bateladas sequenciais e sob aeração intermitente. 2006. 139 pág. Tese de Doutorado da Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
6. ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. Introdução À Química Ambiental. Bookman Companhia Editora. Porto Alegre, 2004.
7. VON SPERLING, M. Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 4. Lodos Ativados. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG. 2ª ed., 2002.