

II-353 - AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DE UM REATOR EM BATELADA SEQUENCIAL NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO

Daniele Colombara

Graduada em Tecnologia em Gerenciamento Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão.

Cristiane Kreutz ⁽¹⁾

Tecnóloga Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Doutoranda em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Docente da Coordenação de Ambiental do campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Eudes José Arantes

Engenheiro Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Ambiental do campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Fernando Hermes Passig

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Ambiental do campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Karina Querne de Carvalho

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Maringá. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Doutora em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Coordenação de Ambiental do campus Campo Mourão da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Endereço ⁽¹⁾: Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Campo Mourão. BR 369 - km 0,5 87301-006 - Caixa Postal: 271 - Campo Mourão - PR – Brasil. Telefone Geral +55 (44) 3518-1400 - e-mail: cristiane.kreutz@gmail.com

RESUMO

Esta pesquisa teve como principal objetivo avaliar a remoção de nitrogênio de um reator em batelada sequencial (RBS) em escala de bancada com biomassa imobilizada com ciclo de 4,5 horas, utilizando esgoto sanitário proveniente da saída do Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF). O reator foi confeccionado com volume útil de 6 litros, aerado por um aerador tipo aquário e recoberto nas laterais internas por espuma de poliuretano para a imobilização da biomassa. O monitoramento foi realizado por meio de análises físico química para obtenção dos seguintes resultados: o afluente foi caracterizado como fraco. Os resultados apontaram eficiência na remoção de DQO bruta de 82% e DQO filtrada de 35%. Já a eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal foi de 35%. Houve acúmulo de nitrito, devido a desnitrificação parcial. Não foram encontradas concentrações de nitrato.

PALAVRAS-CHAVE: Esgoto Sanitário, Biomassa Imobilizada, Remoção de Nitrogênio.

INTRODUÇÃO

O lançamento de dejetos humanos em rios, lagos e mares é a forma mais comum de poluição das águas. Isso leva ao aumento da quantidade de nutrientes disponíveis nesses ambientes, fenômeno conhecido como eutrofização (AMABIS, 1998).

De acordo com Paulino (2002), o enriquecimento de nutrientes pode favorecer o desenvolvimento de uma superpopulação de microrganismos decompositores, que consomem rapidamente o oxigênio (O₂) disponível. Em consequência, o nível de O₂ na água é drasticamente reduzido, acarretando morte das espécies aeróbias, que produzem substâncias tóxicas diversas, como ácido sulfídrico (H₂S).

A remoção biológica de nitrogênio pode ser obtida por processos de nitrificação e desnitrificação, sendo o nitrogênio amoniacal oxidado a nitrito por bactérias do gênero *Nitrossomonas*, em condições aeróbias e posteriormente a nitrato por bactérias do gênero *Nitrobacter*.

As condições operacionais de sistemas de tratamento podem ser realizadas de forma espacial (sistemas de dois estágios) ou temporal das fases anaeróbia, anóxica e aeróbia, sendo esta última obtida em sistemas com operação em bateladas sequenciais. A adaptação de tratamentos biológicos, com vistas à remoção das formas de nitrogênio é uma tarefa viável, tendo-se como ponto de partida o desempenho do sistema, considerando dados de entrada e saída, podendo ser adicionadas etapas específicas dentro do sistema biológico.

Um dos sistemas utilizados para o tratamento de esgoto doméstico é denominado Reator em Batelada Sequencial (RBS). Von Sperling (1997) define esse reator como de mistura completa onde ocorrem todas as etapas do tratamento. Isso é possível através do estabelecimento de ciclos de operação com durações definidas. A massa biológica permanece no reator durante todos os ciclos, eliminando dessa forma a necessidade de decantadores separados e das elevatórias de recirculação do lodo.

Dentro deste contexto, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a nitrificação do esgoto sanitário proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) de Campo Mourão, operado em um reator em batelada sequencial (RBS) em escala de bancada.

MATERIAIS E MÉTODOS

O RBS foi confeccionado com um recipiente plástico de 0,26 m de altura, 0,26 m de diâmetro, volume total de 10 L com volume útil de 6 L. Para promover a difusão do ar, foi instalado um aerador do tipo aquário modelo Máster Junior, com capacidade para 50 L/h e 5 W de potência na parte inferior do reator. A Figura 2 apresenta a vista lateral e superior do reator.

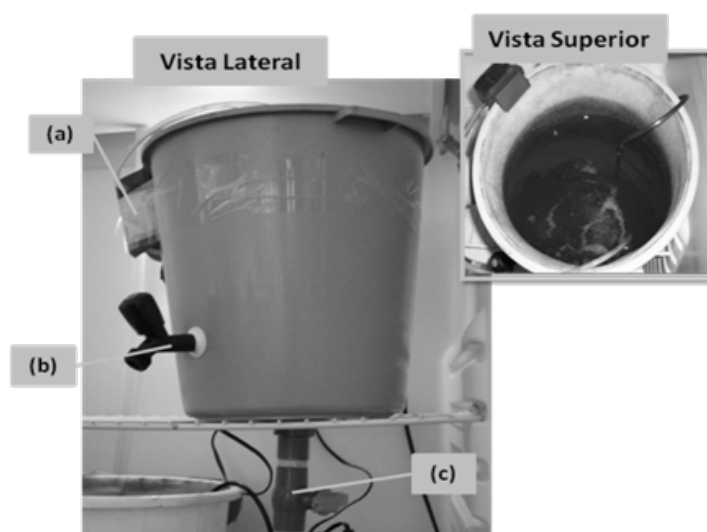


Figura 2 - Vista lateral e superior do reator: (a) aerador; (b) registro lateral; (c) registro de fundo.

O reator operou como um sistema de tratamento com mistura completa. Foi operado em batelada, com ciclo de 4,5 horas, cujas etapas correspondem ao enchimento, reação, sedimentação e descarte do efluente, conforme exemplificado na Tabela 1. Tanto a alimentação como o descarte do efluente foram realizados manualmente. Para o controle dos tempos dos ciclos foi utilizado um temporizador.

Tabela 1: Etapas do ciclo operacional de 4,5 horas

Etapas		Tempo (min)	Aeração	Mistura
Enchimento		10	Não	Não
Reação	Com Aeração	120	Sim	Sim
	Sem Aeração	60	Não	Sim
Sedimentação		60	Não	Não
Descarte		20	Não	Não

Foram realizados 3 ciclos operacionais, sendo que o experimento foi submetido a duas temperaturas distintas: dois ciclos foram operados a 25° C e o outro a temperatura de 35°C.

Para servir de imobilização da biomassa microbiana foi utilizada espuma de poliuretano com 0,5 cm de espessura na parte interna do reator como meio suporte.

O esgoto sanitário utilizado como afluente do reator foi proveniente da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) da SANEPAR, unidade de Campo Mourão, Paraná, coletado na saída de um Reator Anaeróbio de Leito Fluidizado (RALF).

O monitoramento do reator foi realizado por meio da determinação dos parâmetros analíticos, sendo estes pH, temperatura, alcalinidade, ácidos voláteis, Demanda Química de Oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrato, de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Eaton et al., 2005).

RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DO AFLUENTE

Na Tabela 2 são apresentadas os resultados médios dos parâmetros analíticos e a análise estatística referente a caracterização do afluente utilizado na pesquisa.

Tabela 2: Resumo das características dos parâmetros analíticos do afluente

VARIÁVEIS	ESGOTO AFLUENTE				
	N	M	DP	MAX.	MIN.
pH	10	6,9	0,3	7,2	6,6
Temperatura (C°)	10	21	3	27	18
Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	10	137	68	199	98
Ácidos Voláteis (mgHAc.L ⁻¹)	10	43	9	57	33
DQO Filtrada (mg.L ⁻¹)	10	27	7	35	18
DQO Bruta (mg.L ⁻¹)	10	125	57	213	69
Sólidos Totais (mg.L ⁻¹)	8	340	113	491	237
Sólidos Totais Voláteis (mg.L ⁻¹)	8	168	50	241	131
Sólidos Totais Fixos (mg.L ⁻¹)	8	172	143	346	32
Sólidos Suspensos Totais (mg.L ⁻¹)	8	113	64	200	52
Sólidos Suspensos Voláteis (mg.L ⁻¹)	8	86	44	140	37
Sólidos Suspensos Fixos (mg.L ⁻¹)	8	27	22	59	12
Nitrogênio amoniacal (mg.L ⁻¹)	10	22	15	37	4

Legenda: N: número de amostras; M: média; DP: desvio padrão; MAX: maior valor; MIN: menor valor.

Observa-se que os valores de pH se mantiveram próximos da neutralidade, com mínimo de 6,6 e máximo de 7,2. De acordo com Von Sperling (1997) valores fora da faixa ótima de neutralidade tendem a afetar as taxas de crescimento dos microrganismos. Os valores obtidos indicam que o afluente utilizado está sob condições ótimas para a formação da biomassa, o que pode promover o desempenho do reator.

A temperatura do afluente variou de 18°C a 27 °C. Costa (2005) afirmou que as reações gerais de mineralização que produzem NH_4^+ são menos sensíveis a temperatura baixa, por isso NH_4^+ acumula-se em esgotos mais frios. Temperaturas um pouco mais elevadas favorecem a cinética de reação. O processo de nitrificação ocorre em ampla faixa de temperatura, que pode variar de 4° a 45°C, sendo a temperatura ótima de 35°C para *Nitrossomonas* e de 35° a 42° C como ótima para as *Nitrobacter*.

A média da alcalinidade total do afluente foi de 137 $\text{mgCaCO}_3\text{.L}^{-1}$, com valores mínimos de 98 $\text{mgCaCO}_3\text{.L}^{-1}$ e máximos de 199 $\text{mgCaCO}_3\text{.L}^{-1}$ e concentração médio de ácidos voláteis de 43 mg.L^{-1} , se comparado com a classificação proposta por Metcalf e Eddy (1991) este afluente tem características de esgoto médio.

As concentrações médias de matéria orgânica em termos de DQO bruta no afluente foram de 125 mg.L^{-1} , com mínima de 69 mg.L^{-1} e máxima de 213 mg.L^{-1} . A concentração média de DQO Filtrada foi de 27 mg.L^{-1} com mínima de 18 mg.L^{-1} e máxima de 35 mg.L^{-1} . Passig (2005) e Carvalho (2006) reportam que a variação da DQO filtrada variaram de 34 mg.L^{-1} a 931 mg.L^{-1} e 82 mg.L^{-1} a 211 mg.L^{-1} , respectivamente, tratando esgoto doméstico em reator UASB.

As concentrações médias de sólidos indicam que o afluente é caracterizado como “Fraco”, de acordo com Metcalf e Eddy (1991). As médias de sólidos totais, sólidos totais voláteis e fixos, são respectivamente de 340 mg.L^{-1} , 168 mg.L^{-1} , 172 mg.L^{-1} . Para sólidos suspensos totais, fixos e voláteis, as médias foram de 113 mg.L^{-1} , 86 mg.L^{-1} , 27 mg.L^{-1} , respectivamente.

Foi encontrado valor médio de 22 mg.L^{-1} de nitrogênio amoniacal no afluente, com máxima e mínima de 37 mg.L^{-1} e 4 mg.L^{-1} respectivamente, valores classificados entre fraco à médio (12 mg.L^{-1} à 25 mg.L^{-1}) por Metcalf e Eddy (1991).

Não foram detectados concentrações de NO_2^- e NO_3^- , nas amostras de afluentes, pois segundo Metcalf e Eddy (1991) baixas concentrações de OD podem inibir o processo de oxidação da amônia.

RESULTADOS DO MONITORAMENTO DO RBS

As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam um resumo dos resultados médios experimentais obtidos nos três diferentes ciclos de operação do RBS.

Tabela 4: Valores médios dos parâmetros monitorados durante o ciclo I

Parâmetros	CICLO I			
	Etapas do ciclo			
	Afluente	Aerado	Não aerado	Efluente
pH	6,9	8	7,8	7,8
Temperatura (°C)	23	25	25	25
DQO filtrada (mg.L^{-1})	14	19	11	35
DQO Bruta (mg.L^{-1})	86	80	74	46
OD (mg.L^{-1})	4	7	5	5
Alcalinidade total ($\text{mgCaCO}_3\text{.L}^{-1}$)	57	33	35	23
Ácidos Voláteis (mgHA.L^{-1})	33	35	30	41
N amoniacal (mg.L^{-1})	9	6	5	4
Nitrito (mg.L^{-1})	0	0,3	0,8	0,8

Tabela 5: Valores médios dos parâmetros monitorados durante o ciclo II

CICLO II				
Parâmetros	Etapas do ciclo			
	Afluentes	Aerado	Não aerado	Efluente
pH	6,8	7,4	7,3	7,4
Temperatura (°C)	20	25	25	25
DQO filtrada (mg.L ⁻¹)	40	9	9	7
DQO Bruta (mg.L ⁻¹)	127	28	13	9
OD (mg.L ⁻¹)	3	6	2	1
Alcalinidade total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	170	74	73	77
Ácidos Voláteis (mgHA.L ⁻¹)	29	28	31	31
N amoniacal (mg.L ⁻¹)	28	16	17	17
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0	0,8	0,8	0,7

Tabela 6: Valores médios dos parâmetros monitorados durante o ciclo III

CICLO III				
Parâmetros	Etapas do ciclo			
	Afluentes	Aerado	Não aerado	Efluente
pH	6,8	8	7,6	7,7
Temperatura (°C)	30	35	35	35
DQO filtrada (mg.L ⁻¹)	18	11	11	6
DQO Bruta (mg.L ⁻¹)	122	14	14	7
OD (mg.L ⁻¹)	1	5	2	1
Alcalinidade total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	170	116	117	121
Ácidos Voláteis (mgHA.L ⁻¹)	29	39	42	42
N amoniacal (mg.L ⁻¹)	31	24	23	22
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0	0,7	0,7	0,7

Os valores médios obtidos na determinação do pH foram satisfatórios com mínima 6,5 e máxima de 8,0. De acordo com Von Sperling (1996), tais valores encontram-se na faixa ideal que é de 7,0 a 9,0 para o desempenho bacteriano.

As eficiências obtidas de DQO Bruta e DQO Filtrada foram de 82% e 36% respectivamente, sendo superior ao valor obtido por Costa (2005) que foi de 54% de DQO Bruta, trabalhando com reator RBS em escala piloto no tratamento de esgoto doméstico. Foi possível notar um maior decaimento da DQO bruta na fase aeróbia dos ciclos, provavelmente devido a maior disponibilidade de oxigênio dissolvido no sistema, pois os processos aeróbios consomem grandes quantidades de matéria orgânica, mesmo com baixas concentrações de substratos.

A mínima concentração média de alcalinidade durante os ciclos foi de 57,4 mg.L⁻¹ e a máxima foi de 176,9 mg.L⁻¹. Metcalf e Eddy (1991) apontam que são necessários 7,14 mg.L⁻¹ de alcalinidade para oxidar 1 mg.L⁻¹ de nitrogênio amoniacal. Os resultados indicaram um consumo de alcalinidade na fase aeróbia, o que é justificado, pois durante o processo de nitrificação a tendência é de que a alcalinidade diminua.

Observou-se um aumento de 25% nos valores médios de ácidos voláteis. Como a taxa de consumo de ácidos não acompanhou a taxa de produção dos mesmos, pode surgir uma situação de instabilidade, gerando uma redução da atividade metanogênica, que é a etapa final do processo e que, dependendo do resíduo tratado, pode ser a etapa limitante da velocidade do processo de digestão anaeróbia como um todo.

A eficiência da remoção de nitrogênio amoniacal para o efluente foi de 35%, bem abaixo de 88% obtido por Cybis et al. (2003) trabalhando com RBS em escala piloto no tratamento de esgoto doméstico, sem adição de fonte externa de carbono e tempo total de ciclo igual a 8h.

Não foram detectados valores de nitrato na pesquisa. Este resultado pode ser atribuído pelos valores de oxigênio dissolvido serem superiores a $1 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$. Nessa fase, conforme menciona Garbossa (2003), concentrações de OD menores de $1 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ são necessárias para que haja a desnitrificação do sistema, já que sob estas condições, o NO_2^- e NO_3^- são utilizados como aceptores de elétrons pelas bactérias desnitrificantes transformando-os em N-gasoso, completando assim a remoção do nitrogênio.

CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

O pH esteve de acordo com literatura, pois se manteve próximo da neutralidade, com mínima de 6,6 e máxima 7,2. A eficiência média na remoção de DQO bruta e filtrada foi de 82% e 35%, respectivamente. O reator RBS apresentou eficiência média de 35% na remoção de N-amoniaco; no entanto verificou-se acúmulo de nitrito nas etapas finais do ciclo, fato que pode estar relacionado a baixa relação C/N encontrada na fase de desnitrificação.

Conclui-se então que, embora o RBS apresente vantagens econômicas em relação aos processos contínuos de tratamento de esgoto sanitário, pelos resultados deste experimento verifica-se que ajustar suas condições de operação para promover remoção de matéria carbonácea e nutrientes simultaneamente não é tarefa simples. Para esta condição experimental, a nitrificação e desnitrificação não se mostraram válidas, pois o consumo de nitrogênio amoniacal não ocorreu de maneira satisfatória.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMABIS, MARTHO. Fundamentos da Biologia Moderna. São Paulo, MODERNA, 1998.
2. CARVALHO, Q. K. Resposta Dinâmica de Reator UASB em Escala Piloto Submetido a Cargas Orgânicas e Hidráulica Cíclicas: Modelos Matemáticos e Resultados Experimentais, São Carlos, 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil área: Hidráulica e Saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
3. COSTA, T. B. Desempenho de Reator em Batelada Sequencial (RBS) com Enchimento Escalonado no Tratamento de Esgoto Sanitário Doméstico. Florianópolis, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina.
4. CYBIS, L. F. A.; SANTOS, A. V.; GEHLING, G. R. Eficiência de Reator Sequencial em Batelada (RSB) na Remoção de Nitrogênio no Tratamento de Esgoto Doméstico com DQO Baixa. In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais ABES. Joinville, 2003.
5. GARBOSSA, L. H. P. Desenvolvimento e Avaliação de Sistemas de Leito Fixo – Reator Misto Radial e Seguido de Reator Anóxico Horizontal – para Remoção de Matéria Orgânica e Nitrogênio de Esgoto Sanitário. São Carlos, 2003. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo.
6. METCALF & EDDY. INC. Wastewater Engineering – Treatment, Disposal and Reuse. 3º ed. McGraw-Hill Book. 1991.
7. PASSIG, F. H. Reator anaeróbio híbrido para tratamento de esgoto sanitário. São Carlos, 2005. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.
8. PAULINO, W. R. Biologia Atual. Vol.3, São Paulo, ÁTICA, 2002.
9. VON SPERLING, M. Introdução a Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos, vol.1, Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996.
10. VON SPERLING, M. Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, vol.4, Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.