

## II-557 - ANÁLISE DA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO DE UM REATOR DE BIOFILME AERADO EM MEMBRANA

**Leticia Amadeu Freddi<sup>(1)</sup>**

Engenheira Civil pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP). Mestre em Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais pela Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS/UNESP).

**Tsunao Matsumoto<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Civil pela Faculdade de Engenharia de São José dos Campos (FVE/UNIVAP). Mestre e Doutor em Hídrica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Alameda Bahia, 550 – Zona Norte – Ilha Solteira - SP - CEP: 15385-000 - Brasil - Tel: (17) 99702-0892- e-mail: leticiaamadeu@gmail.com

**Endereço<sup>(2)</sup>:** Alameda Bahia, 550 – Zona Norte – Ilha Solteira - SP - CEP: 15385-000 - Brasil - Tel: (18) 3743-1125- e-mail: tsunao.matsumoto@unesp.br

### RESUMO

Os sistemas de recirculação para aquicultura (SRA) são uma alternativa para a produção intensiva de peixes em regiões com disponibilidade limitada de água e área física. O objetivo desta pesquisa é avaliar a eficiência de remoção de nitrogênio em um Reator de Biofilme Aerado em Membrana (MABR) como parte do sistema de tratamento de em um SRA. O SRA foi composto por: um tanque com tilápias a 12,75 kg/m<sup>3</sup> de densidade de estocagem inicial; um Decantador de Coluna (DC) e um MABR. O MABR é formado por dois tubos concêntricos em PVC com 120L de volume total. O interior do tubo interno conta com um feixe de membranas de silicone, as quais são aeradas por um soprador de ar. O meio líquido do MABR também é aerado por meio de um difusor disposto na base do reator. Os parâmetros nitrogênio total, nitrogênio amoniacal, nitrato e nitrito foram analisados 3 vezes por semana durante os 74 dias de funcionamento do sistema. Com base nos resultados foi possível concluir que o MABR foi muito eficiente na remoção de nitrogênio amoniacal, apresentando uma redução de em média 61% deste parâmetro. Por outro lado, tanto para nitrato como para nitrogênio total, a contribuição de remoções foi desprezível, mas para o nitrito, a média de remoção foi de 14%.

**PALAVRAS-CHAVE:** Decantador de coluna, piscicultura, nitrogênio amoniacal.

### INTRODUÇÃO

A aquicultura utiliza recursos naturais, manufaturados e humanos (VALENTI, 2002). Portanto, para a atividade produzir organismos aquáticos sem degradar o meio ambiente, tem se buscado alternativas que utilizem menor volume de água e gerem a menor quantidade de resíduos possível. Assim, o Sistema de Recirculação para Aquicultura (SRA) surgiu como uma boa alternativa de cultivo.

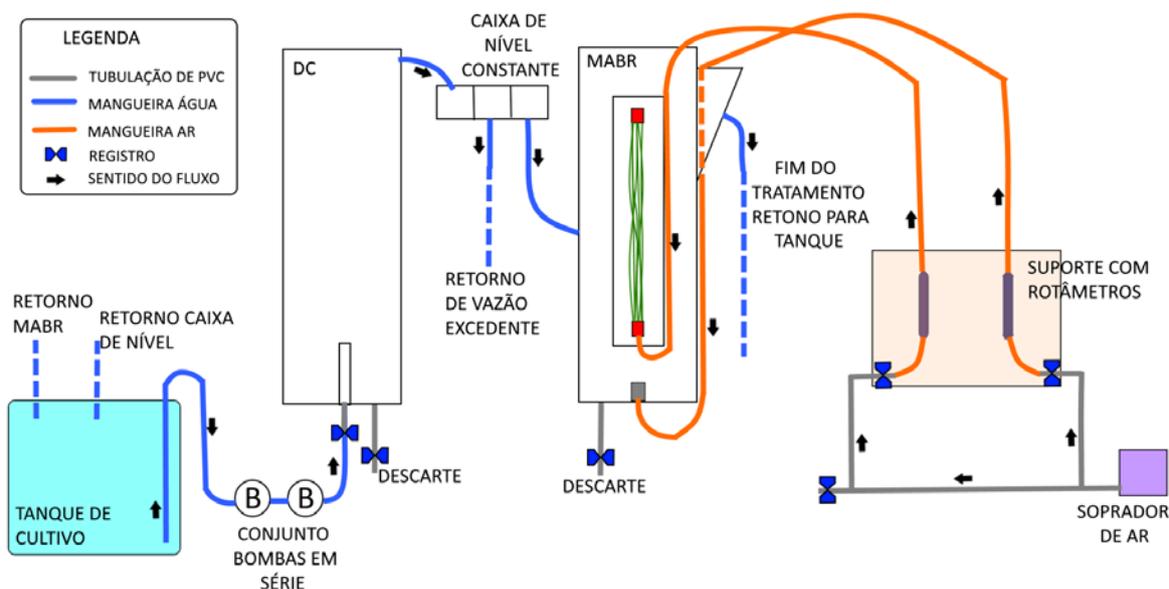
As águas residuárias geradas pelos SRA podem passar por diferentes tecnologias de tratamento. Os biorreatores são muito utilizados por promoverem a redução ou eliminação das grandes cargas carbonáceas e nitrogenadas, produzidas pela ração e geradas por processos metabólicos dos animais em confinamento.

Dentre os biorreatores, tem-se o Reator de Biofilme Aerado em Membranas (MABR), no qual o biofilme é naturalmente imobilizado em uma membrana permeável a oxigênio, de forma que ocorre a difusão do oxigênio através da membrana para o biofilme, promovendo a oxidação dos poluentes (SYRON; CASEY, 2008). Um dos desafios no sistema MABR é o controle da espessura do biofilme, uma vez que elevadas espessuras dificultam a transferência de oxigênio e de substratos para as camadas que compõem o biofilme, resultando em uma queda de desempenho do reator.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a eficiência do tratamento das águas residuárias geradas na produção intensiva de Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), quanto a remoção de nitrogênio, em um SRA dotado de um Decantador de Coluna (DC) associado a um Reator de Biofilme Aerado em Membrana (MABR).

## MATERIAIS E MÉTODOS

O sistema de tratamento foi alimentado com o efluente de SRA e funcionou sob regime constante. Um tanque com capacidade de 1000L foi usado para cultivar 54 tilápias com peso médio inicial de 0,190kg. Um conjunto de duas bombas em série foi instalado externamente ao tanque para recalcar a água a ser tratada. Primeiro, a água recalçada passava pelo DC a uma vazão de 400L/s. O sobrenadante do DC vertia em uma caixa de nível constante, onde uma vazão controlada de 100L/s era encaminhada para o MABR, e o excedente desta caixa retornava ao tanque de cultivo. O efluente tratado pelo MABR saía pela zona de decantação do reator e retornava ao tanque de cultivo. A Figura 1 mostra o esquema de tratamento utilizado na pesquisa com SRA.



**Figura 1: Esquema do sistema de tratamento do SRA.**

O MABR foi aerado por um soprador de ar por meio de duas linhas de alimentação. Uma linha forneceu ar para o difusor instalado na base do reator, cujo objetivo era promover a aeração do meio e controlar a espessura do biofilme criado nas membranas. A outra linha forneceu ar para as membranas, cujo principal objetivo foi fornecer oxigênio aos microrganismos aderidos. Em ambas as linhas, rotâmetros foram utilizados para controlar a vazão de ar.

O DC utilizado foi construído em PVC, tem formato cilíndrico com diâmetro de 400mm e 2,50m de comprimento. A alimentação do DC acontece pela base, por uma tubulação cuja saída está a 0,30 m do fundo, para não prejudicar a formação da camada de lodo. O sobrenadante tratado sai pela parte superior.

O MABR é composto por dois tubos concêntricos em PVC. O tubo externo tem 2,50m de altura e 250mm de diâmetro para o “downcomer”. O tubo interno, também chamado de “riser”, tem 2,20m de altura e 100mm de diâmetro interno, e está posicionado a 0,05m acima do fundo do reator para permitir a circulação do efluente a ser tratado. O reator atende a um volume de aproximadamente 120L.

As membranas utilizadas são do tipo fibra oca, e são permeáveis ao gás para suportar o biofilme fixo, permitindo a entrega direta de oxigênio para os microrganismos. As membranas são feitas de polidimetilsiloxano (PDMS), que é um dos polímeros popularmente referidos como silicone, além de ser densa, não existe poros que permitam a formação de bolhas. Assim, o oxigênio é difundido através do silicone no biofilme, resultando em uma aeração sem a formação de bolhas, o que requer menos energia do que se o sistema se baseasse na difusão do oxigênio através de uma bolha.

As membranas vieram do fabricante como feixe com aproximadamente 550 fios, onde possuem 110cm de comprimento e estima-se que tenham 0,5mm de diâmetro externo. Assim, a área superficial total do feixe de membranas equivale a 0,95m<sup>2</sup>. As membranas foram dispostas dentro do riser, sendo que extremidade inferior está conectada a uma mangueira para receber o ar. Enquanto que a extremidade superior está conectada a uma

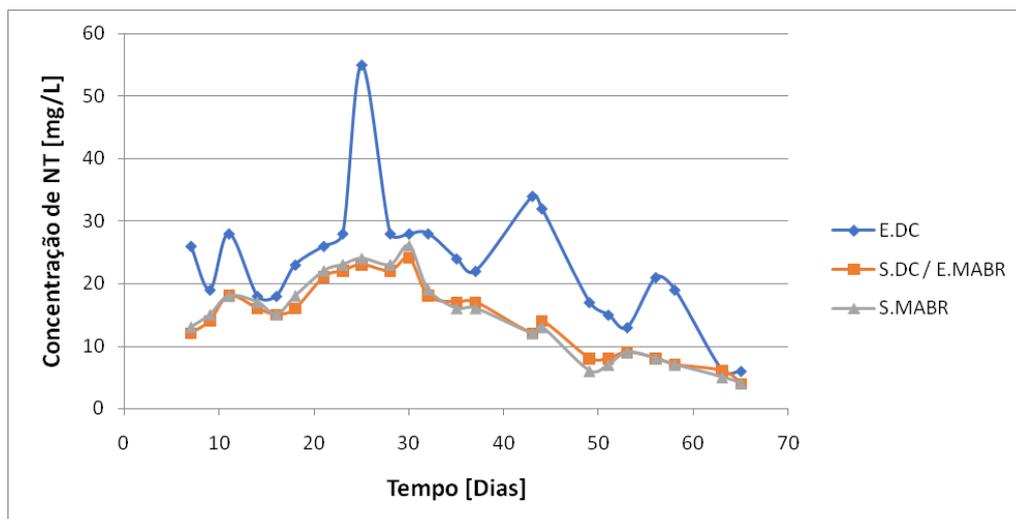
tubulação de PVC que leva o ar excedente para além do nível d'água do MABR, não perturbando o sistema de tratamento.

Ao longo dos 74 dias de rodagem do sistema de tratamento, foram coletadas amostras de água de três pontos, sendo eles: entrada do DC, saída do DC/entrada do MABR e saída do MABR. Os ensaios de determinação de concentração de nitrito, nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total foram realizados três vezes por semana por determinação colorimétrica.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Nitrogênio Total

A variação da concentração de nitrogênio total ao longo do tempo nos três pontos amostrados está apresentada na Figura 2. A concentração média de NT na entrada do DC foi de  $23,22 \pm 14,39$ mg/L, apresentando um pico no dia 25, onde a concentração chegou a 55mg/L. Este pico foi resultado de uma manipulação feita no tanque de cultivo no dia anterior. Para melhor retirar os sólidos acumulados do fundo do tanque, foi feita uma adaptação fixando uma haste na extremidade de sucção que ficava no interior do tanque. O objetivo foi conseguir movimentar a boca de sucção em todas as extremidades do fundo do tanque e melhor captar as impurezas para o sistema de tratamento. No dia da adaptação do dispositivo foi feita uma varredura no fundo do tanque a fim de limpar as impurezas de toda a superfície do fundo acumuladas até então, por este motivo, em todas as análises do dia seguinte foram detectados picos nas concentrações dos parâmetros investigados.



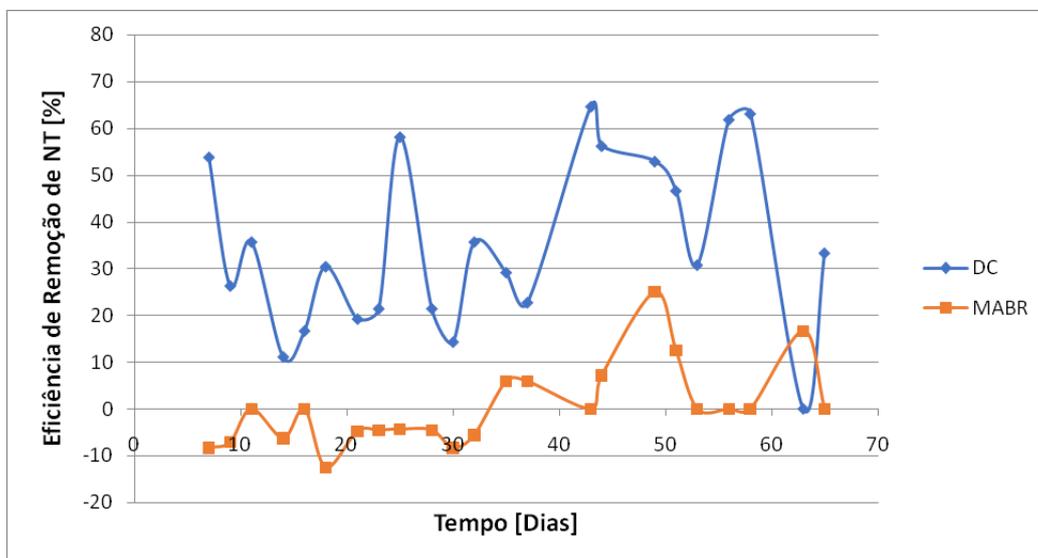
**Figura 2: Variação da concentração de NT ao longo do tempo.**

Com relação às concentrações na saída do DC e na saída do MABR tem-se que as médias foram respectivamente  $14,39 \pm 5,91$ mg/L e  $14,61 \pm 6,56$ mg/L. Todos os dados referentes ao nitrogênio total estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1: Dados de média, desvio padrão, máxima e mínima referentes ao NT.**

	NITROGÊNIO TOTAL			Eficiência de remoção [%]		
	Concentração [mg/L]			DC	MABR	SISTEMA
	E.DC	S.DC / E.MABR	S.MABR			
MÉDIA	23,22	14,39	14,61	35,04	0,29	35,04
DESV.P	10,08	5,91	6,56	18,69	8,73	19,82
MAX	55,00	24,00	26,00	64,71	25,00	64,71
MIN	6,00	4,00	4,00	0,00	-12,50	5,56

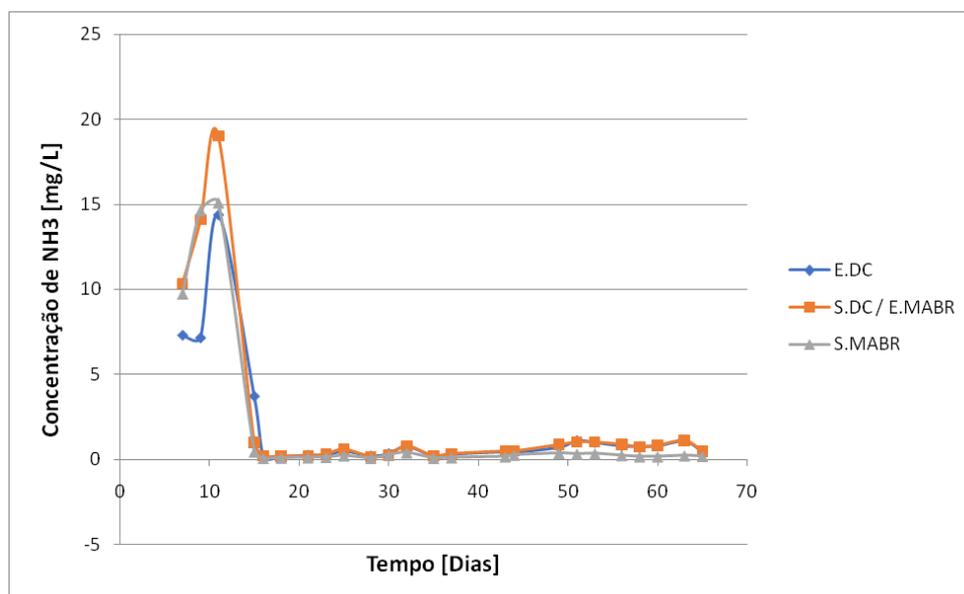
Quanto ao nitrogênio total, foi possível identificar uma redução de em média 35% no DC. Por outro lado, a média de redução de nitrogênio total no MABR foi próxima a zero. Pelo período de tempo analisado, pode-se afirmar que o MABR não remove nitrogênio total. Porém, ao observar o gráfico da Figura 3, após o dia 33 não mais constatou valores negativos, o que pode indicar que houve a maturação do biofilme criado no MABR e um início de melhoria na eficiência de remoção.



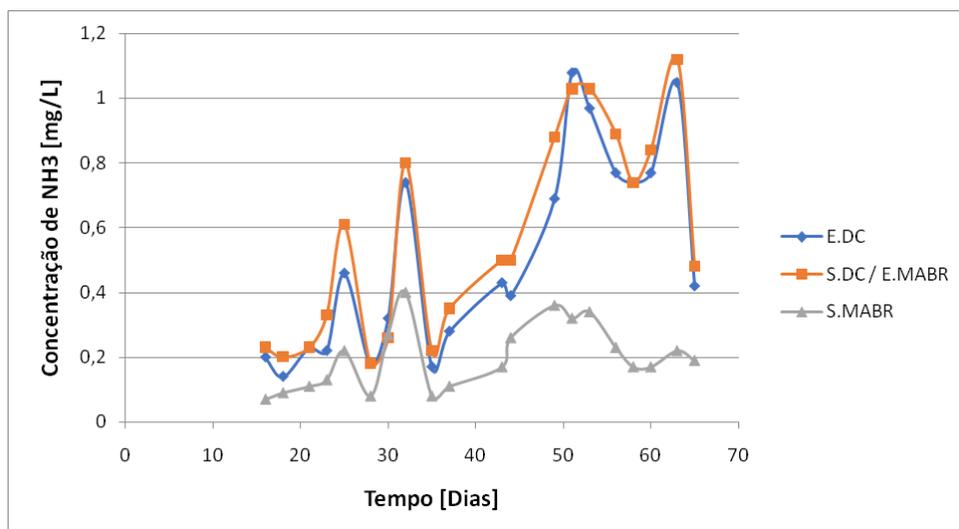
**Figura 3: Variação da eficiência de remoção de NT no DC e no MABR.**

### Nitrogênio Amoniacal

A Figura 4 mostra a concentração de nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_3$ ) nos três pontos amostrados ao longo do experimento. Podem-se observar valores muito elevados no início, resultante da fase de maturação do sistema, chegando ao valor máximo de 19mg/L na saída do DC. A Figura 5 mostra os mesmos valores da Figura 4, porém excluindo o pico, para melhor identificar as variações que se seguiram no restante dos dias.



**Figura 4: Variação da concentração de  $\text{NH}_3$  ao longo do tempo.**



**Figura 5: Variação da concentração de NH<sub>3</sub> ao longo do tempo excluindo o pico inicial.**

Devido às altas concentrações de NH<sub>3</sub> geradas nos 14 primeiros dias, foi preciso tomar uma medida de emergência, uma vez que os peixes não estavam mais se alimentando. Portanto, foi incluído no dia 14 um filtro de zeólita. A zeólita foi colocada em sacos de malha dos quais foram acomodados em um tambor. Assim, toda a água que retornava ao tanque era forçada a passar pelo filtro com as zeólitas. A Figura 6 mostra o sistema montado com as zeólitas, o qual permaneceu por uma semana, sendo retirado no dia 21.



**Figura 6. Filtro com pedra zeólita, vista externa (a) e interna (b).**

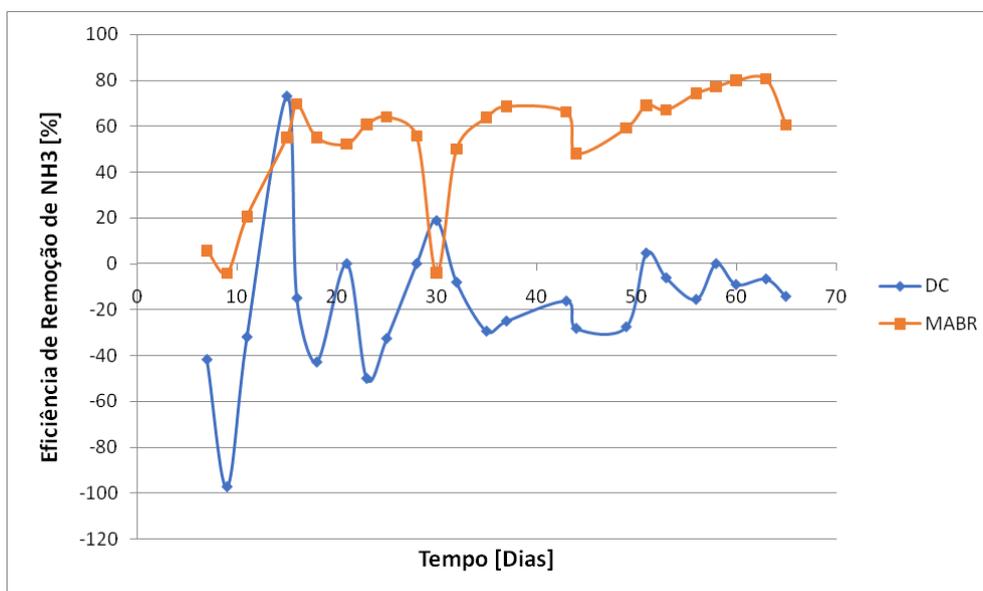
A tabela 2 traz os dados de média, desvio padrão, máxima e mínima referentes ao NH<sub>3</sub> tanto em relação aos valores de concentração quanto aos valores de remoção. Os dados considerados para a tabela 2, excluem os dados anteriores ao dia 16, a fim de eliminar a interferência causada pela introdução da zeólita.

**Tabela 2: Dados de média, desvio padrão, máxima e mínima referentes ao NH<sub>3</sub>.**

NITROGÊNIO AMONICAL						
	Concentração [mg/L]			Eficiência de remoção [%]		
	E.DC	S.DC / E.MABR	S.MABR	DC	MABR	SISTEMA
MÉDIA	0,51	0,57	0,20	-15,17	60,80	55,63
DESV.P	0,31	0,32	0,10	16,83	17,87	16,31
MAX	1,08	1,12	0,40	18,75	80,36	79,05
MIN	0,14	0,18	0,07	-50,00	-3,85	15,63

No DC, houve um aumento da concentração de nitrogênio amoniacal de em média 15%. No entanto, o MABR apresentou uma eficiência de remoção em média de 61%. Analisando pontualmente, a remoção chegou a 80% ao final do período analisado, indicando que os valores poderiam ser ainda melhores se o sistema funcionasse por um período mais longo. Na Figura 7, é possível identificar também o tempo de maturação do sistema que se deu principalmente nos primeiros 15 dias de funcionamento do mesmo.

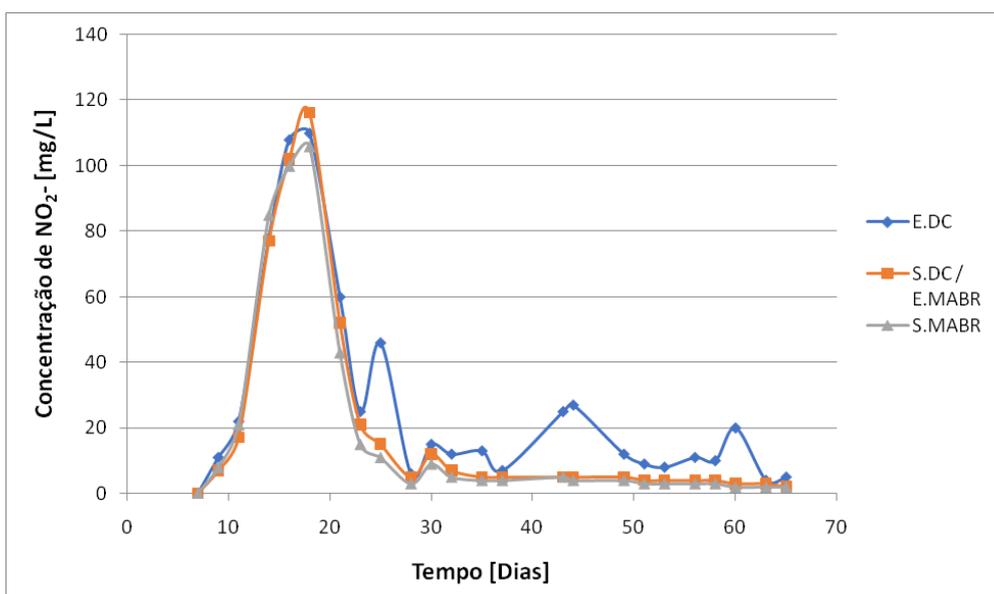
A eficiência de remoção do sistema foi em média de 56%, resultado superior ao SRA realizado por Maigual-Enríquez (2011) que apresentou 31% de remoção de NH<sub>3</sub> e ao realizado por Sánchez-Ortiz (2009) que obteve 27%.



**Figura 7: Variação da eficiência de remoção de NH<sub>3</sub> no DC e no MABR.**

### Nitrito

A Figura 8 mostra os dados da concentração de nitrito nos três pontos amostrados ao longo do tempo de experimento. O primeiro pico se refere ao período de maturação do sistema, onde as concentrações de nitrato, nitrogênio amoniacal e nitrogênio total também foram elevadas. É interessante observar o tempo de reação do sistema frente à introdução da zeólita quanto ao nitrito. As pedras foram adicionadas ao sistema no dia 14, mas foi somente após o dia 18 que os valores de nitrito reduziram devido à reação de oxidação do nitrito pela passagem do efluente pelo filtro com as zeólitas neste intervalo de tempo.



**Figura 8: Variação da concentração de nitrito ao longo do tempo.**

Os dados de média, desvio padrão, máxima e mínima referentes ao nitrito nos três pontos amostrados se encontram na Tabela 3, que apresenta os dados em concentração em mg/L e em eficiência de remoção em porcentagem.

**Tabela 3: Dados de média, desvio padrão, máxima e mínima referentes ao nitrito.**

	NITRITO					
	Concentração [mg/L]			Eficiência de remoção [%]		
	E.DC	S.DC / E.MABR	S.MABR	DC	MABR	SISTEMA
MÉDIA	26,84	20,00	18,55	39,79	14,38	46,91
DESV.P	31,23	32,52	31,73	27,29	18,73	30,61
MAX	110,00	116,00	106,00	85,00	40,00	90,00
MIN	0,08	0,07	0,09	-5,45	-30,00	-16,67

Os dados referentes ao nitrito mostraram que o DC tem 40% de capacidade de remoção em média. No entanto, o MABR apresentou uma eficiência de remoção em média de 14%. Se analisarmos a eficiência do sistema constituído pelo DC seguido do MABR, temos uma remoção média de nitrito da ordem de 47%. As variações de remoção de nitrito ao longo do experimento estão apresentadas na Figura 9.

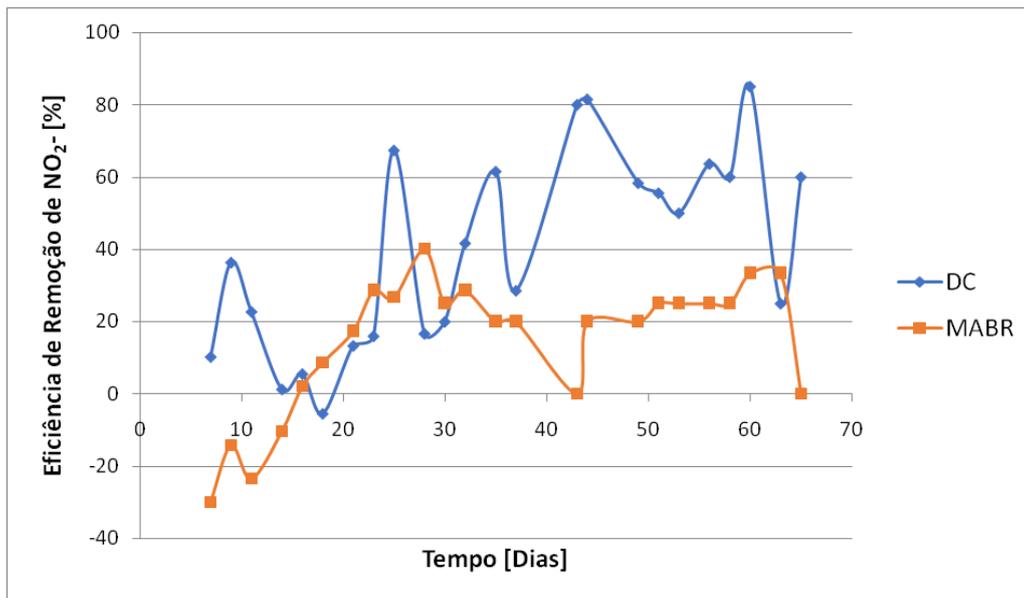


Figura 9: Variação da eficiência de remoção de nitrito no DC e no MABR.

### Nitrato

A Figura 10 apresenta a variação das concentrações de nitrato ao longo do experimento. Pode-se observar um pico inicial devido ao tempo de maturação do biofilme, característica como vista anteriormente nos outros parâmetros. No caso do nitrato, o decaimento da concentração aconteceu de maneira mais lenta, sendo observado até o último dia de coleta. Não foi possível afirmar que o sistema chegou a se estabilizar no período de investigação.

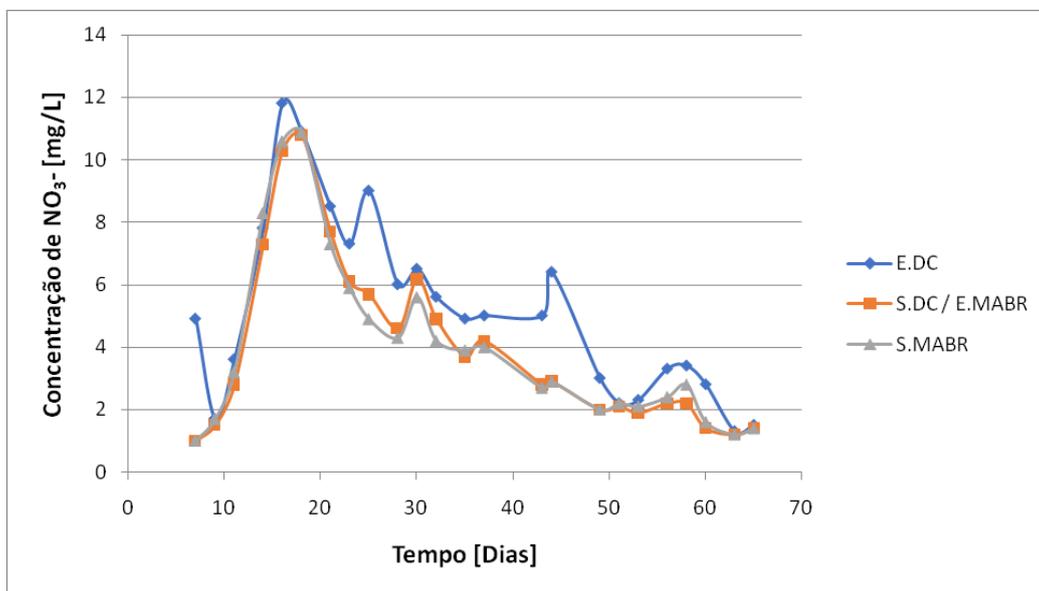


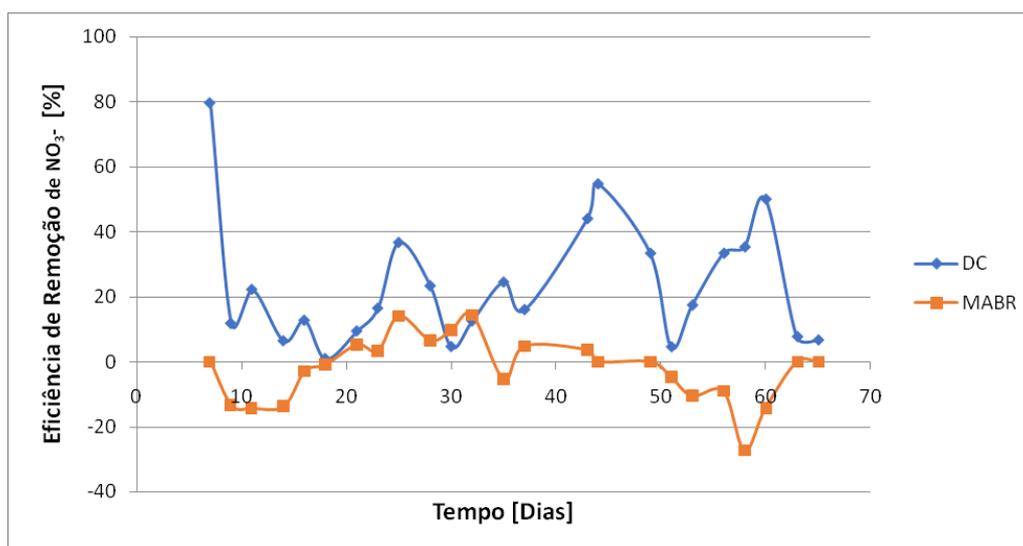
Figura 10: Variação da concentração de nitrato ao longo do tempo.

Os dados mostrados na Tabela 4, indicam que a média de concentração de entrada no DC foi de 5,2mg/L. As médias de concentrações de nitrato na saída do DC e na saída do MABR foram muito próximas, 4,04 e 4,05mg/L, respectivamente.

**Tabela 4: Dados de média, desvio padrão, máxima e mínima referentes ao nitrato.**

	NITRATO					
	Concentração [mg/L]			Eficiência de remoção [%]		
	E.DC	S.DC / E.MABR	S.MABR	DC	MABR	SISTEMA
MÉDIA	5,20	4,04	4,05	23,50	-2,30	21,91
DESVP	2,91	2,82	2,80	19,24	9,90	20,27
MAX	11,80	10,80	10,90	79,59	14,29	79,59
MIN	1,30	1,00	1,00	0,92	-27,27	-6,41

Com relação ao nitrato, identificou-se que os valores de sua concentração diminuam ao passar pelo decantador. Porém, eles voltavam a aumentar quando passavam pelo MABR, indicando a ocorrência do processo de nitrificação, ou seja, a oxidação do nitrogênio amoniacal neste reator. Esses dados causaram uma eficiência de remoção negativa na maior parte do tempo para o MABR. Para o DC, a eficiência de remoção ficou em torno de 23%, ligeiramente superior a média de remoção do sistema que ficou em 22%. Na Figura 11 é possível visualizar toda a variação de remoção ao longo de todo o período de realização do experimento.



**Figura 11: Variação da eficiência de remoção de nitrato no DC e no MABR.**

## CONCLUSÕES

Com base nos dados apresentados podemos concluir que o DC foi eficiente na remoção de nitrito, nitrato e nitrogênio total de 40, 23 e 35%, respectivamente.

Analisando os dados do MABR, é possível concluir que ele não contribuiu para a remoção tanto de nitrato como de nitrogênio total, mas para o nitrito houve uma pequena redução de 14%.

Por outro lado, o MABR se mostrou muito eficiente em remover nitrogênio amoniacal, pois no período analisado, o reator apresentou uma redução de em média 61% deste parâmetro.

O sistema composto pelo DC mais MABR, de maneira geral, se mostrou efetivo na remoção dos parâmetros apresentados.

Para o nitrogênio amoniacal, houve um aumento de sua concentração ao passar pelo DC. Assim, recomenda-se o uso em série de outro dispositivo de tratamento capaz de remover este nitrogênio amoniacal formado no decantador.

Recomenda-se em trabalhos futuros um maior tempo de rotação do sistema, a fim de consolidar os valores apresentados neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. KUBITZA, F. Tilápias: Parte I. Panorama da aquicultura. v. 10, n. 59, p. 44-53, maio/junho, 2000.
2. KUBITZA, F. Tilápia em água salobra e salgada: uma boa alternativa de cultivo para estuários e viveiros litorâneos. Panorama da aquicultura. v. 15, n. 88, p. 14-18, março/abril, 2005.
3. MAIGUAL ENRIQUEZ, Y. A. Utilização de reator aeróbio de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos no tratamento de águas residuais da produção intensiva de tilápia com recirculação da água tratada. 2011. 172f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2011.
4. MOLINA, J. B. Evaluación de la eliminación de materia orgánica y nitrógeno de las aguas residuales em un reactor biopelícula de membrana tubular aireada. 2015. 275f. Tese (Doutorado) – Universidade da Coruña, A Coruña, 2015.
5. SÁNCHEZ-ORTIZ, I. A. Remoção de nitrogênio de água residual de produção intensiva de tilápias com recirculação utilizando reator de leito fluidizado com circulação em tubos concêntricos. 2009. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2009.
6. SILVA, T. S. Efeitos da velocidade de recirculação em reator de biofilme aerado em membranas em batelada sequencial na remoção de nutrientes e carbono orgânico de esgoto doméstico. 2017. 102f. Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2017.
7. SYRON, E.; CASEY, E. Membrane-Aerated Biofilms for High Rate Biotreatment: Performance Appraisal, Engineering Principles, Scale-up, and Development Requirements. *Environmental Science & Technology*, Dordrecht, v. 42, n. 6, p. 1833 – 1844, 2008.
8. TERADA, A. et al. Sequencing batch membrane biofilm reactor for simultaneous nitrogen and phosphorus removal: Novel 102 application of membrane-aerated biofilm. *Biotechnology Bioengineering*, Hoboken, v. 94, n. 4, p. 730 – 739, 2006.
9. VALENTI, G. *Piscicultura Ecológica*. 1 ed. Editora UNESP. p. 332. São Paulo, 2003.