

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/314281156>

# EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE CARGA ORGÂNICA E NUTRIENTES DE UM ECOSISTEMA ENGENHEIRADO PARA...

Conference Paper · September 2011

CITATIONS

0

READS

5

5 authors, including:



[André Luís de Sá Salomão](#)

Rio de Janeiro State University

11 PUBLICATIONS 10 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Marcia Marques](#)

Rio de Janeiro State University

82 PUBLICATIONS 765 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



[Marco Tadeu Gomes Vianna](#)

Rio de Janeiro State University

13 PUBLICATIONS 1 CITATION

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Carbonization of domestic wastes to produce soil amendments (biochar) [View project](#)



Estrogenicity and Genotoxicity Detection in Contaminated Waters [View project](#)

**II-330 - EFICIÊNCIA NA REMOÇÃO DE CARGA ORGÂNICA E NUTRIENTES DE UM ECOSISTEMA ENGENHEIRADO PARA TRATAMENTO DESCENTRALIZADO DE EFLUENTES DOMÉSTICOS – ILHA GRANDE, RJ**

**André Luís de Sá Salomão<sup>(1)</sup>**

Doutorando em Meio Ambiente PPGMA-UERJ, Mestre em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ, Bacharel em Biologia pela Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro-UNIRIO

**Marcia Marques<sup>(1)</sup>**

Prof. Adj. Depto. Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, UERJ. Prof. Titular pela Mid-Sweden University e PhD em Engenharia Química pelo Royal Institute of Technology, Estocolmo, Suécia. Mestre e Bacharel em Biologia pela Universidade Federal do Rio de Janeiro-UFRJ. Líder do Grupo de Pesquisa *BioProcess*.

**Raul Gonçalves Severo<sup>(1)</sup>**

Mestrando em Engenharia Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ. Engenheiro Civil com ênfase em Sanitária pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro-UERJ.

**Marco Tadeu Gomes Vianna<sup>(1)</sup>**

Graduando em Química, Instituto de Química pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro -UERJ.

**Odir Clécio Roque da Cruz<sup>(1)</sup>**

Prof. Adj. Depto. Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente-UERJ. Doutor em Saúde Pública pela Fundação Oswaldo Cruz, Engenheiro Químico pela Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro-UFRRJ.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua São Francisco Xavier, 524, Sala 5024E, Maracanã – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20550-900 - Brasil Tel: (21) 2334-0959. E-mail para correspondência: [marciam@uerj.br](mailto:marciam@uerj.br)

**RESUMO**

Ainda hoje no Brasil, um alto percentual da população e até comunidades inteiras, não tem acesso a um sistema de tratamento de esgoto centralizado, sendo comum o uso das fossas sépticas e/ou sumidouros. Na maioria dos casos, os esgotos são lançados *in natura* diretamente nos corpos hídricos. Com o objetivo de oferecer uma alternativa tecnológica de baixo custo de implantação e operação com vistas à minimização dos impactos ambientais, e em atendimento a pequenas comunidades isoladas, o presente projeto desenvolveu um sistema compacto de tratamento de esgoto domiciliar, denominado Ecossistema Engenheirado (EE), para pequenos geradores. Este sistema foi instalado e vem sendo operado há 25 meses no Centro de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável – CEADS/UERJ. Na primeira etapa (EE1), o sistema utilizou tecnologias convencionais como fossa séptica, filtro aerado submerso e decantador secundário, combinados com tanques vegetados (*wetlands*). Na segunda etapa (EE2), o sistema passou por modificações como o melhoramento da aeração no filtro aerado submerso e uma substituição do decantador secundário por um filtro anóxico. Com isso, o sistema passou a apresentar um ganho maior de eficiência na remoção das cargas orgânicas e de nutrientes. Os resultados obtidos indicam que o sistema foi mais eficiente na remoção nesta nova configuração, com resultados significativamente diferentes para a maioria dos parâmetros analisados, apresentando as seguintes taxas de remoção: 89,8% (Nitrito); 91,8% (Nitrato); 82,7% (N amoniacal); 92,9% (DQO); e 67,6% (fósforo total). Estes resultados mostram que após as modificações no EE, este apresentou uma evolução e garantiu melhores condições para uma maior remoção das cargas poluidoras por processos de oxidação biológica da matéria orgânica, e às reações de nitrificação/desnitrificação tendo como resultante, um efluente pobre em nutrientes e matéria orgânica.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de efluentes, remoção de nutrientes, Filtro aerado submerso, Filtro anóxico, Wetlands.

## INTRODUÇÃO

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o Brasil possui 5.564 municípios, dentre os quais 3.069 municípios (55,1%) possuem redes públicas de coleta de esgoto, e destes, somente 1.587 municípios (51,7%) possuem algum tipo de tratamento do esgoto coletado (IBGE, 2008). O percentual de todo esgoto coletado e tratado no Brasil corresponde a 28,5 % (IBGE, 2008).

Dos 3.069 municípios que possuem serviço de esgotamento sanitário por rede coletora, 48,3% (1.482) despejam o esgoto coletado sem tratamento, *in natura*, em algum tipo de corpo receptor. Em 73,5% dos casos (1.597 municípios) o corpo receptor são rios e corpos hídricos locais. Em 437 municípios a água é usada para irrigação, em 285 é usada para abastecimento público de água e em 212 para recreação (IBGE, 2008).

O lançamento de cargas orgânicas e nutrientes de forma contínua está diretamente associado a processos de eutrofização de rios e lagos (corpos lóticos e lênticos) (Philippi Jr., 2005). A eutrofização pode ser definida como sendo um processo acelerado de crescimento de algas e macrófitas, sendo característica as superfícies extremamente verdes e/ou recobertas de plantas enraizadas e flutuantes. Essa grande quantidade de algas e o excesso de plantas rapidamente alteram a qualidade da água, seja através de sua degradação, ou através de produtos que causam sabor, odor, toxinas e turbidez elevada (Costa *et al.*, 2003).

Os sistemas de tratamento de esgoto, denominados Ecossistemas Engenheirados, utilizam tecnologias do tratamento convencional como fossa séptica e filtros aerados submersos com meio suporte, combinados com tanques vegetados e sistemas alagados ou *wetlands* (Kavanagh & Keller, 2007), promovendo um tratamento mais completo e eficaz, unindo os três tipos de tratamento (primário, secundário e terciário) em um só sistema (Salomão, 2010).

A grande versatilidade dos Ecossistemas Engenheirados (EE), permite que estes sejam construídos conforme as necessidades locais, além de apresentarem vantagens como baixo custo de implantação, tecnologia simples, pouca necessidade de manutenção, baixo consumo de energia e grande capacidade de remoção dos nutrientes e cargas orgânicas (Sooknah & Wilkie, 2004; Kavanagh & Keller, 2007). Outra vantagem do uso desses EE é que estes podem agregar valor estético, mantendo um ambiente esteticamente agradável e desvinculando a poluição visual do tratamento de esgoto (Brix, 1994). Tais vantagens sugerem que estes EE sejam utilizados em pequenas comunidades, vilas, pousadas que enfrentem problemas com a coleta e o tratamento de esgoto (Salomão, 2010).

Este trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho de um sistema descentralizado e compacto de tratamento de esgoto doméstico baseado no conceito de Ecossistema Engenheirado, antes e depois das modificações introduzidas no sistema de aeração e com a substituição do decantador secundário superdimensionado por um filtro anóxico de fluxo ascendente, visando maior eficiência do sistema, na remoção da carga orgânica e nutrientes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Um sistema descentralizado compacto de tratamento de efluentes domésticos baseado no conceito de Ecossistema Engenheirado (EE), foi instalado e vem sendo operado há 25 meses, no *campus* avançado Centro de Estudos Ambientais e Desenvolvimento Sustentável - CEADS da Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ, localizado na Vila de Dois Rios, Ilha Grande (23°18' S, 44°19' W), Município de Angra dos Reis, Litoral Sul do Estado do Rio de Janeiro. A Ilha Grande situa-se em uma área considerada santuário ecológico, Área de Proteção Ambiental dos Tamoios. Este *campus* conta, diariamente, com uma média de 17,1 frequentadores, entre alunos, professores e pesquisadores.

O EE, baseado no modelo apresentado por Kavanagh & Keller (2007), foi composto por elementos estruturais e tanques em fibra de vidro reforçada, o que facilitou o transporte e a instalação, garantindo a leveza e a praticidade necessárias para que possam ser aplicados em locais isolados e com pouca infraestrutura.

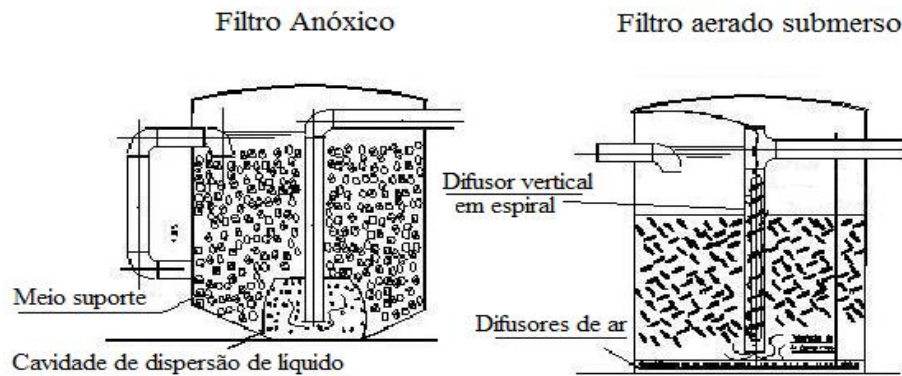
Na primeira etapa de operação e monitoramento do sistema (EE1), o ecossistema engenheirado era composto pelas seguintes unidades (Figura 1): caixa controladora de vazão; caixa de gordura; fossa séptica de fluxo ascendente; filtro aerado submerso de fluxo ascendente; decantador secundário; tanque vegetado por aguapé

(*Eichhornia crassipes*); tanque de algas com chicanas; tanque vegetado por Cyperaceae (*Schoenoplectus sp.*); tanque vegetado por Poaceae (*Panicum cf. racemosum*).

Após 15 meses de operação e monitoramento, adaptações foram feitas, constituindo-se assim, uma segunda etapa (EE2), com o objetivo de incorporar algumas mudanças tecnológicas, a saber: melhoria nas taxas de aeração no tanque aerado submerso de fluxo ascendente e substituição do decantador secundário por um filtro anóxico de fluxo ascendente (Figura 2).



**Figura 1:** Planta do sistema compacto de tratamento descentralizado de esgoto doméstico, Ecosistema Engenheirado (EE), composto por 9 tanques: Caixa controladora de vazão; Caixa de gordura; Fossa séptica; Filtro aerado submerso; Decantador secundário (Filtro anóxico); e Tanques vegetados com aguapé, algas, macrófita emergente e gramínea respectivamente. Fonte: Salomão (2010).



**Figura 2:** Detalhe, à esquerda, do tanque do sistema original (decantador secundário), que foi modificado para um filtro anóxico; à direita, detalhe do difusor vertical em espiral, introduzido no tubo de entrada que conduz o afluente ao fundo do filtro aerado submerso.

A melhoria no processo de aeração no filtro aerado submerso ocorreu através da introdução de um difusor vertical em espiral, colocado no tubo de entrada do afluente (100 pol.) (Figura 2). Essa modificação possibilitou uma melhor aeração do afluente, antes de sua chegada ao fundo do tanque. Esse aumento na aeração ocorreu devido à maior proporção de ar em relação à quantidade de líquido dentro do tubo. Com isso, ao atingir a base do tanque, o afluente pré-aerado era novamente aerado pelos difusores de fundo, antes de entrar em contato com o meio suporte. Isto proporcionou um aumento das taxas de OD nesta região, favorecendo os processos biológicos de oxidação da matéria orgânica e reações de nitrificação/desnitrificação, como será comentado posteriormente.

O decantador secundário, por sua vez, superdimensionado na versão anterior (EE1) para as cargas aplicadas, foi modificado e transformado em um filtro anóxico de fluxo ascendente, com a adição de argila expandida como meio suporte (30 mm e 550 kg/m<sup>3</sup>), e um tubo de PVC (100 pol.) que conduziu o afluente até a base do tanque, numa cavidade de dispersão (Figura 2).

Os dados referentes ao dimensionamento dos tanques do EE estão apresentados nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1: Dados de dimensionamento do Ecossistema Engenheirado.**

Dados do sistema	
Volume tratado	1.250 L/dia
Carga orgânica	0,36 kg DBO/dia
Vazão do sistema	52 L/h
TRH total do EE	4,56 dias
Capacidade do sistema	12 hab/dia
Área total do sistema	25,2 m <sup>2</sup>
Área vegetada	8,28 m <sup>2</sup>
Compressor de ar	½ CV
Bombas submersas	¼ CV

**Tabela 2: Dados de dimensionamento dos tanques que compõem o Ecossistema Engenheirado (EE), por ordem sequencial de tratamento.**

Unidades	Dados	Fonte
Medidor de vazão	Tipo Thompson: 52 L/dia	
Caixa de gordura	TRH = 0,46 h	
Fossa séptica de fluxo ascendente	TRH = 25,4 h	ABNT – NBR 13.969 e 7.229
Filtro Aerado submerso de fluxo ascendente	Área superficial do meio suporte: 200 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ; Carga orgânica superficial adotada 0,014 kg DBO/m <sup>2</sup> .d; Taxa de aeração: 53,25 m <sup>3</sup> /d.kg DBO.	ABNT – NBR 13.969
Decantador secundário*	Taxa de escoamento superficial aplicada: 1,2 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d	PROSAB 2
Filtro anóxico de fluxo ascendente*	Área superficial do meio suporte: 200 m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> ; Taxa de aplicação superficial: 1,10 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .dia; Carga orgânica superficial adotada 0,0017kg DBO/m <sup>2</sup> .d.	PROSAB 2
Wetland de fluxo superficial	Taxa máxima de carregamento: 300 kg DBO/ha.d; Taxa de escoamento superficial: 0,58 m/d; Altura da lâmina d'água: 33 cm.	PROSAB 2
Tanque de alga	Taxa de escoamento superficial: 0,58 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d; Taxa máxima de carregamento: 157,5 kg DBO/ha.d; Altura da lâmina d'água: 27 cm.	PROSAB 2
Wetland de fluxo subsuperficial vertical	Taxa de escoamento superficial: 0,58 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d; Profundidade de Substrato: 0,25 m; Taxa de aplicação de DBO: 0,012 Kg DBO/m <sup>2</sup> .dia.	PROSAB 2
Wetland de fluxo subsuperficial horizontal	Taxa máxima de carregamento: 99,3 kg DBO/ha.d; Taxa de escoamento superficial: 0,58 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d; Profundidade de substrato: 0,35 m.	PROSAB 2

\* Na Etapa 2 (EE2) o decantador secundário foi substituído pelo filtro anóxico de fluxo ascendente.

As macrófitas aquáticas foram selecionadas a partir de espécies existentes na Ilha, de acordo com design de cada tanque do sistema (Figura 1) e também pela alta produção de biomassa. O aguapé (*Eichhornia crassipes*) foi selecionado para o tanque de fluxo superficial, devido a sua comprovada tolerância a ambientes eutrofizados e pelas longas raízes que promovem a filtração e fixação de microrganismos (perifitons) (Zimmels *et al.*, 2006). As algas foram escolhidas devido à incorporação relativamente alta de fósforo e nitrogênio por unidade de biomassa (Hussar *et al.*, 2004). No tanque de fluxo subsuperficial vertical foi usada uma macrófita emergente, Cyperaceae (*Schoenoplectus sp.*), que suporta melhor o constante alagamento. No tanque de fluxo subsuperficial horizontal foi selecionada uma macrófita de raiz capilar, com crescimento por estolão, a gramínea *Panicum cf. racemosum*, da família Poaceae.

## AMOSTRAGEM E ANÁLISE

O EE possui 9 pontos de coleta, a partir dos quais, foram coletadas, pela manhã, amostras equivalentes à entrada e saída de cada unidade de tratamento, possibilitando avaliar a eficiência de cada etapa do processo. O monitoramento foi realizado com coletas e análises quinzenais realizadas na Unidade de Análise de Água e Esgoto do Laboratório de Biorremediação e Fitotecnologias-LABIFI instalada no *Campus*, especialmente, para este projeto. Os seguintes parâmetros físico-químicos foram monitorados: pH (APHA-4500 H+B), Oxigênio Dissolvido (APHA-4500-O G.), Demanda Química de Oxigênio (APHA-5220 D), Temperatura (APHA-2550), Nitrito (APHA-4500-NO<sub>2</sub>- D), Nitrato (APHA-4500-NO<sub>3</sub>), Nitrogênio Amoniacal (APHA-4500-NH<sub>3</sub> D), Fósforo total (FT) (kit de análise TNT843<sup>+</sup> aprovado pela USEPA), Turbidez (Turbidímetro Hach 2100Q) e Sólidos (APHA-2540) (APHA, 2005).

Para análise estatística e a comparação entre as médias dos parâmetros de eficiência de remoção em EE1 e EE2, foi realizado o teste-*t* (*Mann-Whitney test*), utilizando o software Graph Pad Prism.

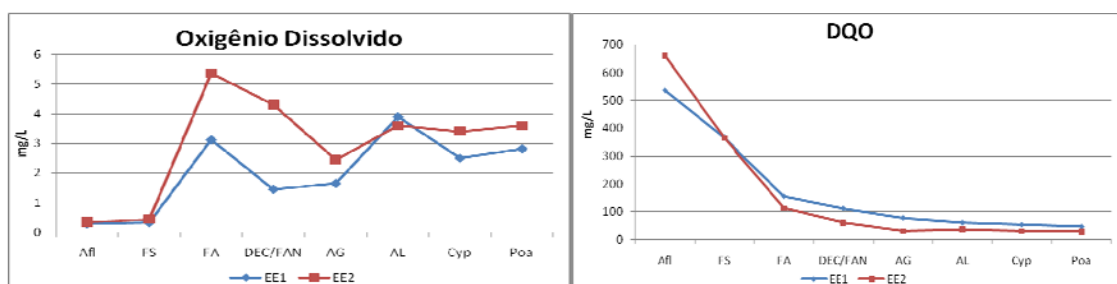
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após as modificações realizadas no filtro aerado submerso (difusor vertical em espiral) e no decantador secundário (em filtro anóxico), o EE2 apresentou um ganho considerável de eficiência na remoção da maioria dos parâmetros físico-químicos analisados, conforme Tabela 3.

**Tabela 3: Valores médios dos parâmetros físico-químicos analisados, antes (EE 1) e depois (EE 2) das modificações realizadas no sistema. Valores médios de alguns parâmetros analisados no efluente. Em negrito, percentuais de remoção que apresentaram diferenças significativas ( $p < 0,05$ ), quando comparadas as duas etapas (EE1 x EE2).**

		DQO	Nitrito	Nitrato	N-amon.	Ftot
EE 1	EE (mg/L)	499,2	3,5	22,0	70,8	26,4
	Efl EE (mg/L)	65,7	0,75	9,9	38,8	15,6
	Remoção (%)	<b>85,6</b>	<b>87,7</b>	<b>67,0</b>	<b>58,3</b>	<b>45,3</b>
EE 2	EE (mg/L)	699,2	4,3	164,1	69,0	27,8
	Efl EE (mg/L)	67,2	0,52	24,0	19,1	11,3
	Remoção (%)	<b>92,8</b>	<b>89,8</b>	<b>91,8</b>	<b>82,7</b>	<b>67,6</b>
<b>Diferença sign. EE1/EE2</b>		<b>0,037</b>	0,688	<b>0,028</b>	<b>0,042</b>	<b>0,028</b>

EE – Ecossistema engenheirado; Efl – efluente; N-amon: Nitrogênio amoniacal; Ftot: fósforo total.



**Figura 3: Valores médios de OD e DQO (mg/L) em diferentes pontos de amostragem do sistema nas etapas 1 (EE1) e 2 (EE2).**

A partir da Figura 3, pode-se observar que, com a introdução de um difusor vertical, houve um incremento das taxas de oxigênio dissolvido (OD), o que propiciou melhores condições para um maior desenvolvimento dos microorganismos no filtro aerado submerso e uma maior colonização dos meios suportes. Com a introdução deste novo aerador, o OD, no filtro aerado submerso, passou de 3,1 a 5,4, ou seja, um incremento de aproximadamente 42%. Esta maior disponibilidade de oxigênio dissolvido propiciou uma maior oxidação e consumo da carga orgânica por reações químicas e pela ação de microorganismos, resultando num aumento de eficiência de 21% só no filtro aerado. Considerando também o filtro anóxico, o ganho de eficiência na redução da concentração de DQO que era aproximadamente 69% para EE1 passou para 85% para o EE2. De acordo

com a Tabela 3, podemos observar que houve uma diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os valores totais de remoção no efluente do EE1 e do EE2.

Mesmo após as modificações no sistema o pH se manteve estável variando de 6,8 a 7,3 ao longo do sistema e com 7,1 no efluente final.

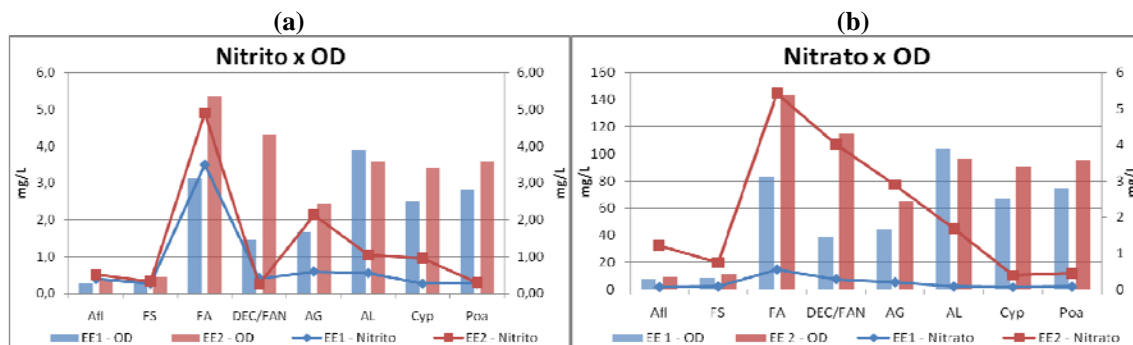


Figura 4a: Valores de Nitrito em comparação aos dados de oxigênio dissolvido (OD), e b: Valores de Nitrato em comparação aos dados de oxigênio dissolvido (OD).

Após as modificações introduzidas (EE2), o sistema ficou com a seguinte configuração: anaeróbio (fossa séptica) + aeróbio (filtro aerado) + anóxico (filtro anóxico) + aeróbio (sistema alagado). Essa configuração favoreceu melhores condições para as reações de nitrificação e desnitrificação, devido às condições alternadas de fornecimento ou não de oxigênio nos tanques. Outro fator que foi essencial para uma melhoria nos processos de nitrificação foram as taxas de OD acima de 3 mg/L (Hirakawa *et al.* 2002).

Em relação aos teores de nitrito (Figura 4a), pode-se observar que este apresentou dois picos de maior concentração em tanques aeróbios (filtro aerado submerso e tanques vegetados, em particular o tanque de aguapé), devido aos processos de nitrificação. Estes dois picos de maior concentração foram seguidos por quedas nas concentrações, devido ao fato que o nitrito é apenas uma forma intermediária e pouco estável no processo de nitrificação, sendo esta transformada em nitrato completando o processo de nitrificação por bactérias nitrificantes (Von Sperling, 2009). Isto provavelmente explica o fato de não ter havido diferença significativa ( $p < 0,05$ ) em relação às taxas de remoção de nitrito entre EE1 e EE2 (Tabela 3).

Diferentemente do nitrito, o nitrato (Figura 4b) apresentou um único pico de concentração (no filtro aerado submerso), sendo seguido por um decréscimo contínuo de concentração até o efluente final. Este fato provavelmente é explicado pelo consumo e assimilação do nitrato pelas algas e plantas nos tanques seguintes, onde mesmo com o aumento das taxas de OD, nos tanques vegetados, não houve mais picos, e sim um consumo maior que a taxa de produção do mesmo, sendo este, o fenômeno esperado nos tanques vegetados com algas e macrófitas (Sooknah & Wilkie, 2004). Além destes fenômenos, outro processo para explicar essa redução é a desnitrificação em zonas anóxicas nos tanques subsequentes ao filtro aerado submerso, principalmente o filtro anóxico (Van Kaick, 2002; Brix, 1993). O incremento nas taxas de OD resultou numa redução de aproximadamente 92% de nitrato, sendo esta, diferente significativamente ( $p < 0,05$ ) das taxas de obtidas no EE1 (Tabela 3).

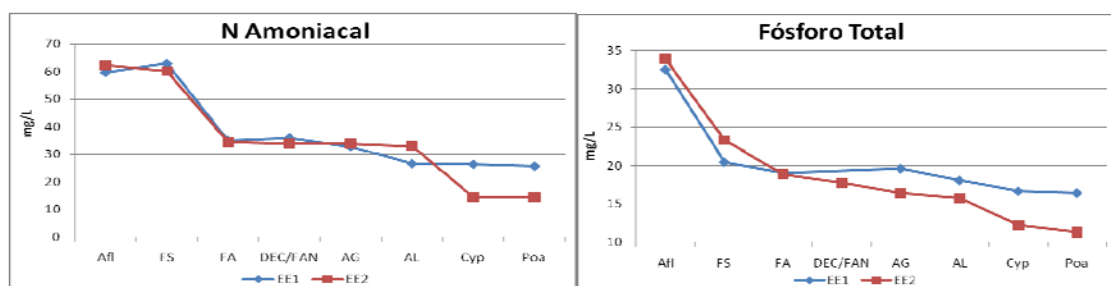


Figura 5: Dados do EE1 e EE2, referentes aos parâmetros físico-químicos N-amoniaco e Fósforo total.

A concentração do N-Amoniacal (Figura 5) foi reduzida ao longo dos processos de tratamento nos tanques do EE, que devido aos processos de nitrificação, principalmente no filtro aerado submerso e no tanque de fluxo subsuperficial vertical vegetado por macrófitas emergentes. A redução do N-Amoniacal está muito relacionada com a nitrificação, porém sua redução se torna mais complexa devido à degradação da matéria orgânica que tem como produtos a amônia, o dióxido de carbono, o metano e água, ocorrendo principalmente em locais com baixa concentração de oxigênio a partir de microrganismos em anaerobiose (Jordão & Pessoa, 2005).

Após as modificações no sistema (EE2), foi verificado um aumento na remoção do N-amoniaco (29,5%), sendo o novo valor em EE2 significativamente diferente ( $p < 0,05$ ) do valor em EE1 (Tabela 3).

O aumento na remoção de fósforo também foi significativo comparando o EE1 com o EE2 onde foi verificado um aumento de 29,5% na remoção do fósforo, com uma concentração final no efluente de 11,3mg/L.

Por fim, com a substituição do decantador superdimensionado por um filtro anóxico (através do preenchimento do tanque com argila expandida), foi verificada uma maior remoção do sólido suspenso total (SST) (aproximadamente 98%), resultando numa melhor condição de tratamento nos tanques subsequentes, e um efluente com uma menor turbidez (6,18 NTU, 98% remoção). Isso resultou num melhor funcionamento do sistema de tratamento, possibilitando um melhor desempenho dos tanques vegetados, tendo como consequência um ganho de eficiência de remoção das cargas orgânicas e dos nutrientes.

De acordo com os limites estabelecidos, para o lançamento de esgoto tratado em corpos hídricos, pela Resolução do CONAMA 357/2005 e 430/2011, assim como a NBR 13969/1997 da ABNT, o sistema apresentou resultados abaixo das concentrações limites em todos os parâmetros analisados, com exceção do fósforo total, que obteve uma concentração média, no efluente, de 11,3 mg/L.

## CONCLUSÃO

Os resultados apresentados pelo Ecossistema Engenheirado após as modificações (EE 2), com a instalação de um difusor vertical em espiral no filtro aerado submerso, e a substituição do decantador secundário, superdimensionado, por um filtro anóxico, indicam uma evolução no tratamento dos parâmetros analisados. Isto possibilitou que o sistema apresentasse uma condição favorável à maior remoção das cargas poluidoras por processos de oxidação biológica da matéria orgânica, e às reações de nitrificação/desnitrificação.

Com isso, o Ecossistema Engenheirado atendeu aos requisitos propostos pela Legislação vigente (CONAMA 430/2011 e 357/2005; e NBR 13969/1997), além dos inicialmente propostos por este trabalho: consumo relativamente baixo de energia, pouco espaço requerido, não adição de produtos químicos, fácil operação, baixa manutenção, fácil instalação e transporte, tecnologia simples, com alta eficiência de remoção de nutrientes e carga orgânica, e uso de sistemas biológicos (plantas e algas pluricelulares e unicelulares, em associação com microrganismos) no polimento final do tratamento, seguindo os princípios da Engenharia Ecológica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13969: Tanques sépticos: Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.
3. BRIX, H. Functions of macrophytes in constructed wetlands. *Water Science and Technology*, v. 29, n. 4, p. 71-78, 1994.
4. BRIX, H. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes, and treatment performance. In: MOSHIRI, G. A. *Constructed wetlands for water quality improvement*. CRC Press / Lewis publishers, Boca Raton. p. 632, 1993.



5. COSTA, L. L.; CEBALLOS, B. S. O.; MEIRA, C. M. B. S.; CAVALCANTI, M. L. F. Eficiência de Wetlands construídos com dez dias de detenção hidráulica na remoção de colífangos e bacteriófagos. *Revista de Biologia e Ciências da Terra*, v. 3, n. 1. 1º semestre de 2003.
6. HIRAKAWA, C.; PIVELI, R. P.; ALEM SOBRINHO, P. Biofiltro aerado submerso aplicado ao pós-tratamento de efluente de reator UASB: Estudo em escala piloto com esgoto sanitário. *XXI Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. João Pessoa/PB. Anais XXI CBESA-ABES, II-032. p. 1-14, 2001.
7. HUSSAR, G. J.; CONCEIÇÃO, C. H. Z.; PARADELA, A. L.; BARIN, D. J.; JONAS, T. C.; SERRA, W.; GOMES, J. P. R. Uso de leitos cultivados de vazão subsuperficial na remoção de Macronutrientes de efluentes de tanques de piscicultura. *Engenharia ambiental*. Espírito Santo do Pinhal, v. 1, n. 1. p. 25-34, 2004.
8. IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Rio de Janeiro, 2008.
9. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 4ª. ed. Rio de Janeiro: ABES. 2005.
10. KAVANAGH, L. J.; KELLER J. Engineered ecosystem for sustainable on-site wastewater treatment. *Water Research*, v. 1. p. 823-831, 2007.
11. PHILIPPI Jr., A. (Ed.). Saneamento, Saúde e Ambiente. Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Manole, Universidade de São Paulo, Faculdade de Saúde Pública e Núcleo de Informações em Saúde Ambiental. São Paulo. p. 181, 2005.
12. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico 2 - PROSAB 2. Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbicos. 1ª. ed. Belo Horizonte, MG: Coordenador Carlos Augusto Lemos Chernicharo. 2001.
13. SALOMÃO, A. L. S. Ecosistema engenheirado no tratamento descentralizado de águas residuárias de pequenos geradores: a engenharia ecológica na Ilha Grande, RJ. Dissertação de Mestrado. Centro de Tecnologia e Ciências, Faculdade de Engenharia. Rio de Janeiro, RJ. p. 145, 2010.
14. SOOKNAH, R. D.; WILKIE, A. C. Nutrient removal by floating aquatic macrophytes cultured in anaerobically digested flushed dairy manure wastewater. *Ecological Engineering*, v. 22. p. 27-42, 2004.
15. VAN KAICK, T. S. Estação de tratamento de esgoto por meio de zona de raízes: uma proposta de tecnologia apropriada para saneamento básico no litoral do Paraná. Dissertação de Mestrado. Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. Curitiba, Paraná. p. 116, 2002.
16. VON SPERLING, M. Princípios básicos do tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – DESA, Universidade Federal de Minas Gerais. v. 2. p. 97-101, 2009.
17. ZIMMELS, Y.; KIRZHNER, F.; MALKOVSKAJA, A. Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. *Journal of Environmental Management*, v. 81. p. 420-428, 2006.