

# CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DE SISTEMA PRÉ-FABRICADO DE TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO

Simone Fiori<sup>(1)</sup>; Vera Maria Cartana Fernandes<sup>(2)</sup>, Vinícius Scortegagna<sup>(3)</sup>; Fernanda Liska<sup>(4)</sup>

(1) Universidade de Passo Fundo, [sfiori@upf.br](mailto:sfiori@upf.br)

(2) Universidade de Passo Fundo, [cartana@upf.br](mailto:cartana@upf.br)

(3) Universidade de Passo Fundo, [Vinicius.enge@gmail.com](mailto:Vinicius.enge@gmail.com)

(4) Universidade de Passo Fundo, [Nanda\\_liska@hotmail.com](mailto:Nanda_liska@hotmail.com)

## Resumo

*Apenas parte dos domicílios brasileiros é atendida por redes coletoras públicas de esgoto sanitário. Os demais recorrem a sistemas individuais de tratamento, ou ainda, lançam inadequadamente os esgotos na rede de drenagem urbana e cursos d'água. Uma prática comum nas edificações são os sistemas de tratamento pré-fabricados, com a eficiência indicada pelo fabricante. Em função disso, o objetivo desse estudo é analisar a eficiência de um sistema de tratamento de esgoto pré-fabricado, constituído de reator e filtro anaeróbio seguidos de desinfecção, instalado em uma edificação comercial. Os parâmetros analisados foram: DBO, DQO, SST, SSV, pH; Turbidez; Nitrogênio Total; Nitrato; Nitrito; Fósforo Total e Coliformes termotolerantes. Através dos resultados obtidos nas amostragens observou-se que o sistema resulta em um efluente tratado com parâmetros abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONSEMA128/06 e da CONAMA 430/11, na maioria dos parâmetros analisados, mostrando-se ineficiente para os parâmetros nitrito e nitrato.*

**Palavras-chave:** Efluente sanitário; tratamento biológico; reator anaeróbio de fluxo ascendente; filtro anaeróbio; sistema pré-fabricado.

## Abstract

*Only a part of Brazilian households is served by sanitary sewage systems. The other households rely on individual treatment systems, or even launch improperly in urban drainage system and rivers. A common practice in buildings is the treatment systems prefabricated, with the systems efficiency indicated by the manufacturer. According to that, the object of this study is to analyze the efficiency of an individual system of sewage treatment pre-fabricated, consisting of reactor and anaerobic filter followed by disinfection, installed in a commercial building, in order to analyze the treatment efficiency. The following parameters were analyzed: BOD, COD, total suspended solids, volatile suspended solids, pH, Turbidity, Total Nitrogen, Nitrate, Nitrite, Total Phosphorus and Fecal coliform. The results obtained in the samples showed that the system is efficient for most parameters, resulting in a treated effluent below the limits established by CONSEMA Resolution 128/06 and CONAMA 430/11, in most parameters, proved to be inefficient for the parameters nitrite and nitrate.*

**Keywords:** Sanitary effluent, biological treatment, UASB reactor, anaerobic filter, pre-fabricated system.

## 1. INTRODUÇÃO

O serviço público de rede de coleta e tratamento de esgoto sanitário é realidade apenas para uma parcela da população brasileira, na maioria dos municípios ela é inexistente. Vários municípios tratam as suas águas residuárias geradas, muito embora também seja prática

comum lançar tais efluentes diretamente nos corpos d'água sem qualquer tratamento. Diante dessa enorme deficiência sanitária, aliada ao quadro epidemiológico e o perfil socioeconômico das comunidades brasileiras, constata-se a necessidade de soluções simplificadas de saneamento, no que se refere à coleta e ao tratamento dos esgotos, que atendam uma parcela maior da população e minimizem os efeitos do lançamento do esgoto in natura nos rios (CHERNICHARO, 2001).

Grande parte das edificações urbanas possui seu próprio sistema de tratamento. E uma prática comum são os sistemas pré-fabricados de tratamento. O problema, na maioria das vezes, é que esse tipo de sistema de tratamento, individual, pode não ser devidamente eficiente, ou, devido à falta de cuidados e análise nos projetos, ou de acompanhamento na execução e operação dos mesmos.

O sistema de tratamento analisado neste estudo é constituído por um reator anaeróbio de fluxo ascendente, filtro anaeróbio, seguidos de desinfecção. JORDÃO e PESSÔA (2005) afirmam que um bom projeto de reatores UASB, costuma obter efluente com eficiência média da ordem de 65% de remoção de DQO, e de 70% de DBO. Para se obter maior eficiência, os reatores UASB devem vir seguidos de tratamento complementar, que pode ser feito por meio de processos aeróbios como: lodos ativados, filtros biológicos, ou pode ser feito com um processo anaeróbio. Geralmente no caso de esgotos domésticos, um efluente com concentração máxima de DBO inferior a 120mg/l e de SST inferior a 80mg/l pode ser obtido. Esses valores são fortemente influenciados pelo tempo de detenção hidráulico, sendo tipicamente entre 6 a 9 horas (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Conforme Chernicharo (2001) os resultados em experimento desenvolvidos com o filtro anaeróbio como unidade de pós-tratamento do UASB, demonstraram ser possível obter um efluente final de excelentes características, mesmo quando o sistema UASB e filtro anaeróbio é submetido a variações de vazão. Em quase todas as situações operacionais as eficiências de remoção de DBO e DQO são superiores a 80%, sendo que em diversas ocasiões estas eficiências podem ser compreendidas na faixa de 85 a 95%.

Após passar pelo sistema de tratamento, o efluente deve conter parâmetros qualitativos abaixo dos limites estabelecidos nos padrões de lançamento vigentes. Por tal motivo desejou-se analisar a eficiência de um sistema individual de tratamento de esgoto pré-fabricado, instalado em uma edificação comercial, com objetivo de verificar se o efluente tratado se enquadra nos padrões estabelecidos pelas resoluções ambientais vigentes e se atende a eficiência de tratamento indicada pelo fabricante.

## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

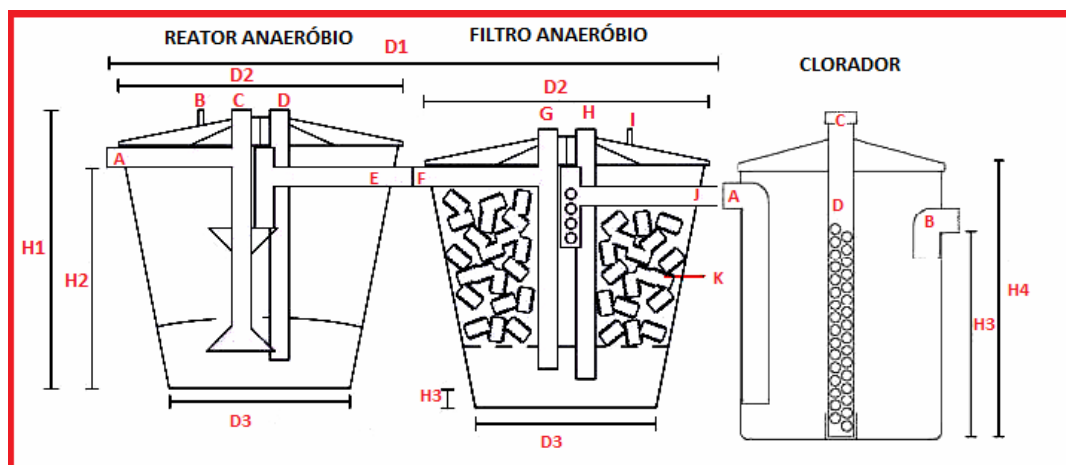
### **2.1. Descrição do Sistema**

O sistema de tratamento pré-fabricado em estudo foi implantado em uma edificação no centro da cidade de Passo Fundo. O município de Passo Fundo, de acordo dados do IBGE (2011), apresenta uma população aproximada de 186 mil habitantes e atualmente municipal, pouco mais de 20% do esgoto gerado no município é tratado em sistema público, prevalecendo assim os sistemas de tratamento de esgoto individual. A edificação da pesquisa possui uma área total útil de 8.994,13m<sup>2</sup> e tem uso de centro administrativo e futuramente de pronto-atendimento de urgências e emergências médicas. O sistema de esgoto estudado atende somente a parte comercial da edificação (sistemas separados).

O conjunto de sistema de tratamento em estudo é composto por reator anaeróbio de fluxo ascendente (UASB), seguido de filtro anaeróbio, além da caixa de cloração, como pode ser observado na Figura 1. Todos os componentes do sistema são pré-fabricados e em fibra de vidro. Conforme o fabricante o conjunto foi dimensionado para tratar o esgoto com

capacidade de redução de até 93% de carga orgânica, e a manutenção de limpeza deve ser feita a cada 15 meses, em média.

Figura 1 – Esquema do sistema de tratamento pré-fabricado



Na Figura 1, o fluxo entra no reator anaeróbico através de um tubo na parte superior e é direcionado para o fundo do tanque (afogado). No perímetro do tanque existe uma calha para coletar o efluente já tratado e encaminhar para o filtro anaeróbico à jusante. O filtro anaeróbico funciona como um pós-tratamento que contribui para uma eficiência global maior na remoção da matéria orgânica. A capacidade volumétrica do reator e do filtro são ambos de 25.000 litros, e suas medidas estão especificadas no Quadro 1.

Quadro 1 – Especificações do sistema

Sigla	Dimensão	Legenda	
D1	6600 mm	A - Entrada do reator - PVC	G - Saída de gases do filtro - PVC
D2	3200 mm	B - Saída de gases do reator - PVC	H - Entrada de ar para limpeza - PVC
D3	2530 mm	C - Entrada de ar para limpeza - PVC	I - Tubo para limpeza - PVC
H1	4600 mm	D - Tubo para limpeza - PVC	J - Saída do filtro - PVC
H2	3950 mm	E - Saída do reator - PVC	K - Tubos corrugados em polietileno
H3	100 mm	F - Entrada do filtro - PVC	
<b>Desinfecção (clorador):</b>			
H3	850 mm	H3	850 mm
H4	1100 mm	H4	1100 mm

O sistema de desinfecção é constituído por um tanque de contato, no qual o efluente do filtro anaeróbico entra em contato com o cloro que está adicionado ao tubo de armazenamento localizado no interior do mesmo. A caixa de cloração do tem capacidade de 544 litros, e para manutenção é necessário fazer a reposição dos tabletes de cloro conforme seu consumo, variando de 10 a 15 dias, inserindo as mesmas no tubo de armazenamento.

## 2.2. Amostragem e caracterização qualitativa do efluente

Para a caracterização qualitativa do efluente, foram realizadas coletas de amostras do esgoto para análise em duas épocas diferentes do ano de 2011. Os pontos de coleta foram: Ponto 1 – no UASB; Ponto 2 - no filtro anaeróbio; e Ponto 3 - na saída do clorador (esgoto tratado). As amostras foram coletadas diretamente dos tanques do sistema, sendo o efluente estocado sob refrigeração (a 4°C) até a sua caracterização nos laboratórios da UPF. Ao todo, foram feitas seis coletas distintas.

As análises foram realizadas no LACE (laboratório de análise e controle de efluentes) e no laboratório de microbiologia da UPF. Todas as amostras foram analisadas em triplicatas. As amostras foram caracterizadas utilizando-se os seguintes parâmetros físicos e químicos e microbiológicos: sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), nitrogênio total, nitrito, nitrato, fósforo total, demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), pH, Turbidez e coliformes termotolerantes. Todas as análises foram realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 1998).

Após análises, os resultados foram comparados com os padrões ambientais vigentes de lançamento de efluentes, ou seja, Resolução CONAMA 430 de 2011 (que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357/05); e a Resolução CONSEMA 128/06, do Conselho Estadual de Meio Ambiente (que dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul). Também foi feita a comparação com a Conama 357/05.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta a caracterização do efluente gerado na edificação do estudo e tratado no sistema de tratamento pré-fabricado existente, conforme os parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados ao passo que a Tabela 2 apresenta a eficiência e a comparação com os padrões observados.

Em relação aos dados apresentados na Tabela 1, percebe-se que, a relação DQO/DBO é menor do que 2,5, indicando que tal efluente pode ser tratado por processos biológicos (VON SPERLING, 1996). Do material particulado, a maior parte é orgânica, conforme indicado pela relação SSV/SST (sólidos suspensos voláteis/sólidos suspensos totais) de 0,8. Em relação ao pH, observa-se que o seu valor médio no efluente permaneceu na faixa de 7,33 a 9,01. O desvio padrão da DQO efluente do sistema foi 310 mg.L<sup>-1</sup> e da DBO<sub>5</sub> foi 108 mg/L. Percebe-se que houve uma redução em relação à maioria dos parâmetros observados, do Ponto 1 para o Ponto 3, com exceção do nitrito e nitrato.

Na Tabela 2 pode-se observar que há eficiência de tratamento para a maioria dos parâmetros analisados, como por exemplo, a eficiência global de remoção de DQO foi 98%, do Ponto 1 (UASB) para o ponto 3 (clorador). A eficiência de remoção de DQO do UASB ficou na ordem de 97% e de DBO em 95%. Segundo Jordão e Pessoa (2005) reatores UASB costumam obter efluente com eficiência média da ordem de 65% de remoção de DQO, e de 70% de DBO e conforme Chernicharo (2001) as eficiências de remoção de DBO e DQO de sistema UASB seguido de filtro anaeróbio são superiores a 80%. E de acordo com o fabricante, o conjunto foi dimensionado para tratar o esgoto com capacidade de redução de até 93% de carga orgânica.

Tabela 1 – Resultados da caracterização do efluente tratado no sistema pré-fabricado

Parâmetro	Ponto 1			Ponto 2			Ponto 3		
	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média	Máx.	Mín.	Média
DQO (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )	1270	933	966	41	17	28	33	7,2	19,1
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )	640	180	416	21	5,2	17	20	1,3	8,9
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	460	342	394	36	12	22	24	12	18
SSV (mg.L <sup>-1</sup> )	380	217	311	12	4	4	12	4	4
Nitrogênio Total (mg.L <sup>-1</sup> )	313,1	10,7	61	4,71	2,5	3,6	56,4	16,5	16,8
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	10	ND.	0,3	3,18	0,03	2,01	10	0,026	3,01
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,63	0,62	0,6	15,6	3,1	3,8	14,93	1,02	4,08
Fósforo Total (mg.L <sup>-1</sup> )	> 6	6	6	0,21	0,11	0,18	1,12	<0,05	0,6
pH	9,01	8,83	8,92	7,45	7,33	7,4	7,94	7,93	7,9
Turbidez (UNT)	373	276	321	4,74	4,01	4,42	21,5	17,4	19
Coliformes termotolerantes (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	1,6E7	5,4E6	1,1E6	4,9E2	<180	2,5E2	450	200	315

Onde: ND. – Não detectado

Tabela 2 – Eficiência e comparação do efluente final tratado no sistema pré-fabricado

Parâmetro	Ponto 1 (UASB)	Ponto 3 (Clorador)	Eficiência Média	Conama 430/11	Consema 128/06*	Conama 357/05**
DQO (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )	966	19,1	98%		360	
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> O <sub>2</sub> )	316	8,9	97%	120	150	≤ 5
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	394	18	95%	E ≥ 20%***	160	
SSV (mg.L <sup>-1</sup> )	311	4	98,7%			
Nitrogênio Total (mg.L <sup>-1</sup> )	61	16,8	72%	20	20	≤ 1
Nitrito (mg.L <sup>-1</sup> )	0,03	3,01	↑			1
Nitrato (mg.L <sup>-1</sup> )	0,6	4,08	↑			10
Fósforo Total (mg.L <sup>-1</sup> )	6	0,6	90%			≤ 0,050
pH	8,92	7,9	-	5 a 9	6 a 9	6 a 9
Turbidez (UNT)	321	19	94%			≤ 100
Coliformes termotolerantes (NMP.100mL <sup>-1</sup> )	1,1E6	315	99,97%			≤ 1000

\* Para vazão entre 20 e 100 m<sup>3</sup>/d

\*\* Águas Doces - Classe 2

\*\*\* sólidos em suspensão totais: eficiência mínima de remoção de 20%, após desarenação.

Em relação aos padrões ambientais, nacional e do Rio Grande do Sul (Conama 430/11 e Consema 128/06), o efluente tratado, ao final do Ponto 3, apresenta valores abaixo dos limites estabelecidos para lançamento de efluentes sanitários. Já quando a comparação é feita com a 357/05 (classe 2), o efluente tratado, ao sair do sistema, apresenta valores acima do estabelecido para os parâmetros DBO, Nitrogênio total, Nitrito e Fósforo Total. As Figuras 2 e 3 apresentam o decaimento médio da matéria orgânica e de sólidos, respectivamente. Pode-

se observar que o efluente tratado ao final do tratamento apresenta valores médios abaixo dos limites estabelecidos.

Figura 2 – Decaimento da matéria orgânica no sistema pré-fabricado

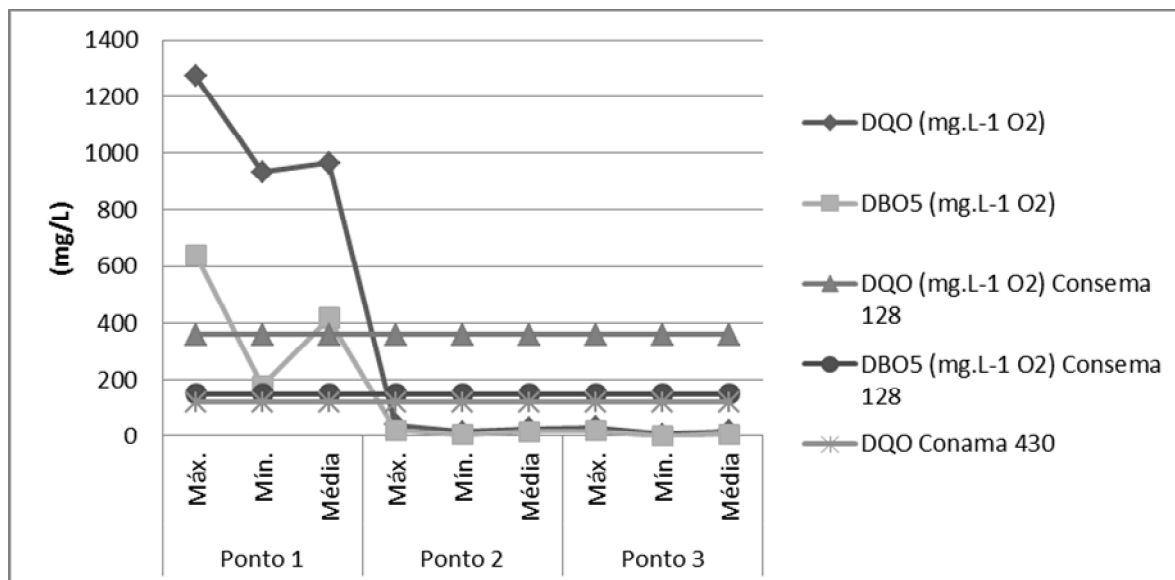
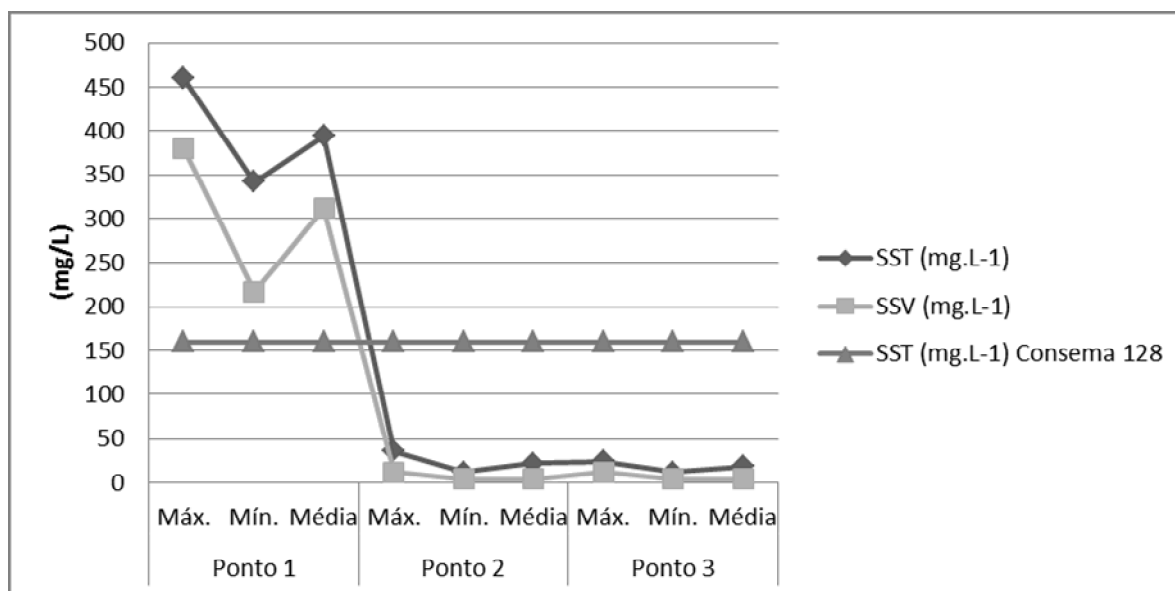


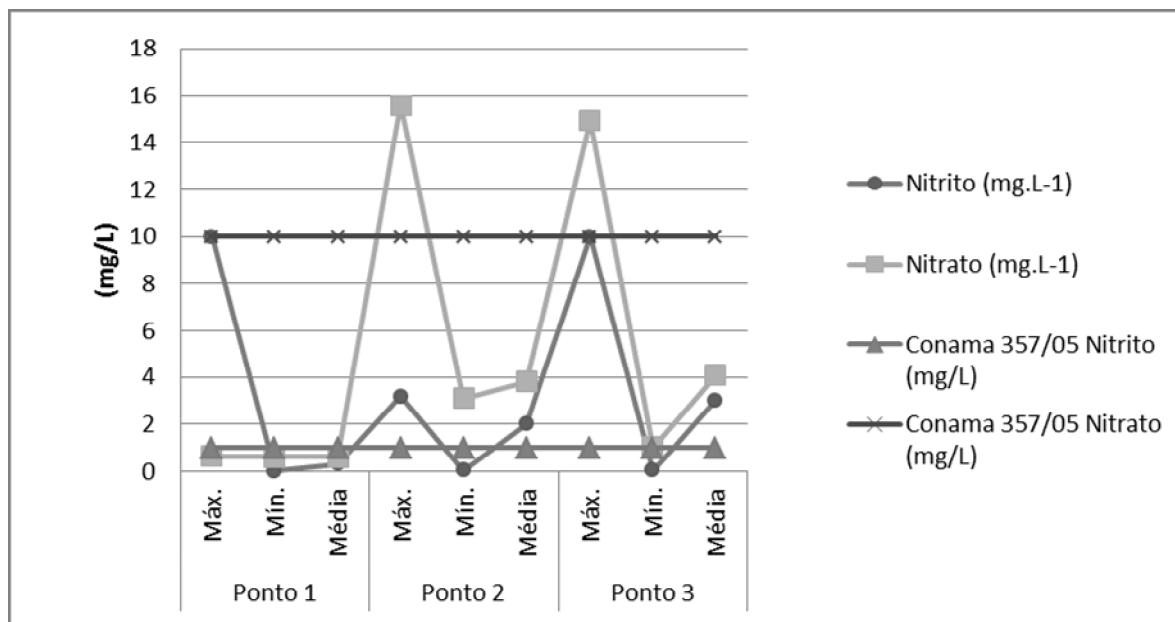
Figura 3 – Decaimento dos Sólidos Suspensos no sistema pré-fabricado



Ao se analisar os parâmetros nitrito e nitrato, o sistema apresentou-se ineficiente, principalmente com o nitrato. Houve um aumento das concentrações na maioria coletas, ficando em média, no ponto final (Ponto 3) com concentração de nitrito  $3,01 \text{ mg.L}^{-1}$  e de nitrato  $4,08 \text{ mg.L}^{-1}$ , com desvios padrões de  $1,06$  e  $2,02 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente. O processo de nitrificação oxida o nitrogênio na forma de amônia ( $\text{NH}_4$ ) através de bactérias autotróficas (que utilizam carbono inorgânico ( $\text{CO}_2$ ) como fonte de carbono) a nitrito e nitrato. Como o nitrito é um intermediário redutivo e rapidamente oxidado para nitrato, geralmente a sua concentração é baixa. Quanto mais velho o efluente, mais alto o teor de nitrato e mais baixo o

de nitrito. Um pós-tratamento se mostra necessário para a série do nitrogênio, como desnitrificação. A Figura 4 apresenta o comportamento dos resultados de nitrito e nitrato.

Figura 4 – Comportamento do Nitrato e Nitrito no sistema pré-fabricado



Quanto à caracterização microbiológica em relação ao comportamento dos coliformes termotolerantes, observa-se nos resultados que os valores médios encontrados foram de  $1,6E7$  NMP.100mL<sup>-1</sup> no Ponto 1, reduzindo para 315 NMP.100mL<sup>-1</sup> no Ponto 3, ficando o efluente tratado com padrão abaixo do limite do Conama.

Os resultados demonstraram que o sistema de tratamento pré-fabricado analisado, constituído por reator anaeróbio seguido de tratamento anaeróbio e desinfecção é eficiente para a maioria dos parâmetros, deixando a desejar para a série do nitrogênio. Desta forma, recomenda-se uma adequação no sistema ou pós-tratamento para a remoção do nitrogênio. Ressalta-se também a importância de outros trabalhos analisarem os demais tipos de sistemas pré-fabricados, para verificar se a especificação de eficiência do fabricante é cumprida, e se o efluente tratado atende a legislação ambiental vigente.

#### 4. CONCLUSÕES

Os resultados de caracterização físico-química do efluente tratado no sistema de tratamento pré-fabricado analisado indicaram redução no teor de matéria orgânica (DQO Ponto 1 de 933 a 1.270 mg.L<sup>-1</sup> para DQO Ponto 3 de 7,2 a 33 mg.L<sup>-1</sup>; DBO<sub>5</sub> Ponto 1 de 180 a 640 mg.L<sup>-1</sup> para DBO<sub>5</sub> Ponto 3 de 1,3 a 20 mg.L<sup>-1</sup>) e SSV Ponto 1 de 217 a 380 mg.L<sup>-1</sup> para SSV Ponto 3 de 4 a 12 mg.L<sup>-1</sup>. A relação DQO/DBO é menor do que 2,5, indicando que tal efluente pode ser tratado por processos biológicos. Do material particulado, a maior parte é orgânica, conforme indicado pela relação SSV/SST (sólidos suspensos voláteis/sólidos suspensos totais).

Em relação a caracterização microbiológica dos coliformes termotolerantes os valores são reduzidos de  $1,6E7$  a 315 NMP.100mL<sup>-1</sup>, ficando o efluente final abaixo do estabelecido para a Classe 2 do Conama (de 1000 NMP.100mL<sup>-1</sup>). Já em relação aos nutrientes (N e P) e nitrato e nitrito, o sistema apresenta ineficiência, indicando que o tratamento biológico requer adequação ou complementação num pós-tratamento.

A análise da eficiência indicou que o sistema apresenta a eficiência indicada pelo fabricante para a matéria orgânica, ficando acima de 90% de remoção, e de acordo com os padrões encontrados na literatura para sistemas semelhantes. Porém, o fabricante não faz nenhuma menção às séries dos parâmetros nitrogênio e fósforo, nem aos microbiológicos do tratamento.

Os dados do último Censo, divulgados pelo IBGE, revelam que a maior carência do país na área de serviços públicos e infraestrutura continua a ser em saneamento básico. Grande parte das edificações urbanas possui seu próprio sistema de tratamento. E uma prática comum são os sistemas pré-fabricados de tratamento. O problema, na maioria das vezes, é que esse tipo de sistema de tratamento, individual, pode não ser devidamente eficiente. Ressalta-se a importância de mais trabalhos para analisar os sistemas pré-fabricados, para verificar se a especificação de eficiência do fabricante é cumprida, e se o efluente tratado atende a legislação ambiental vigente. Também alertar para a falta de cuidados e análise nos projetos, ou de acompanhamento na execução e operação dos mesmos.

## REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20<sup>a</sup> edition. Washington, DC: APHA, AWWA, WEF, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Estudo de concepção e de sistemas de esgoto sanitário: *NBR-9648*. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de redes coletoras de esgotos sanitários: *NBR-9649*. Rio de Janeiro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos: *NBR-7229*. Rio de Janeiro, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos: *NBR-13969*. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estação de tratamento de esgotos sanitários: *NBR-12209*. Rio de Janeiro, 1992.
- CHERNICHARO, C. A. de L. ET al. Pós-tratamento de efluentes anaeróbios por sistemas de desinfecção. In: CHERNICHARO, C. A. de L. *Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios*. FINEP/PROSAB, 2001.
- CHERNICHARO, C.A.L. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios*. 2. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007.
- CONAMA. Conselho Nacional do meio Ambiente. *Resolução N° 357*, de 17 de março de 2005. Lex: Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.
- CONAMA. Conselho Nacional do meio Ambiente. *Resolução N° 430*, de 13 de maio de 2011. Lex: Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, 2011.
- CONSEMA. Conselho Estadual do meio Ambiente. *Resolução 128*. Dispõe sobre a fixação de Padrões de Emissão de Efluentes Líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. CONSEMA, 2006.
- IMHOFF, Karl e Klaus. *Manual de tratamento de águas residuárias*. 26. ed. São Paulo, SP: Ed. Edgard Blücher Ltda, 2002.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. *Tratamento de esgotos domésticos*. 4. ed. Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005.
- METCALF & EDDY. *Wastewater Engineering: Treatment, disposal and reuse*. McGraw-Hill, New York, 2001.
- VON SPERLING, Marcos. Princípios básicos do tratamento de esgotos. In: *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. Vol. 2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996.