

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## ESTUDO COMPARATIVO ENTRE REATORES DE CRESCIMENTO ADERIDO E DISPERSO PÓS TANQUES SÉPTICOS TRATANDO ESGOTOS DOMÉSTICOS

\*José Dorivaldo Florêncio de Oliveira<sup>1</sup>  
Gilson Barbosa Athayde Junior<sup>1</sup>  
Sofia Fernandes Lemos de Souza<sup>1</sup>  
Afonso Eris Ferreira de Andrade<sup>1</sup>

COMPARATIVE STUDY BETWEEN ADHERED AND  
SUSPENDED GROWTH REACTORS AFTER SEPTIC TANKS  
TREATING DOMESTIC WASTEWATER

Recibido el 30 de junio de 2014; Aceptado el 11 de diciembre de 2014

### Abstract

The removal efficiency of BOD<sub>5</sub>, COD, TSS and SSV were studied in two anaerobic reactors which received semi-equalled effluent of a septic tank, one being adhered growth (R1, with bed of gravel N<sup>o</sup>. 4) and the other dispersed growth (R3, without support material for microbial growth). This system was installed in the Student Residence at UFPB in João Pessoa-PB. The sewage came from two bathrooms that attended to a theoretical population of 4 inhabitants. Eleven samples of the effluent from the septic tank and from the reactors 1 and 3 were collected in the period between 28/02/2013 and 10/12/2013. Temperature and pH of the reactors ranged from 24.5 to 28.1 ° C and from 7.3 to 8.1, respectively, which are adequate for the anaerobic treatment of sewage. The BOD<sub>5</sub> removal efficiencies (32.8 and 27.1% in R1 and R3, respectively), COD (43.4 and 33.0% in R1 and R3, respectively), SST (56.2 and 48.0% in R1 and R3, respectively) and VSS (54.7 and 46.2% in R1 and R3, respectively) were high. It demonstrates a good applicability of these low-cost housing units, which are devoid of collective sewage system in the reduction of pollution load discharged in water bodies systems. Analysis of variance showed no significant difference at the level of 5% between the average of the corresponding parameters of the two reactors, suggesting that reactor that receives discharges from the attenuation peaks, there is no need of support bed, which may represent a reduction in costs involved.

**Key Words:** household sewage, sewage treatment, anaerobic reactor, attached growth, suspended growth.

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Brasil.

\*Autor correspondente: Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. Campus Universitário I, João Pessoa - Paraíba - Brasil. CEP 58051-900. Telefone: 55 (83) 3216-7119; Fax: 55 (83) 3216-7119. Email: [dorivaldoliveira@hotmail.com](mailto:dorivaldoliveira@hotmail.com)

## Resumo

Estudou-se a eficiência de remoção de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST e SSV em dois reatores anaeróbios que recebiam efluentes semi-regularizados, sendo um deles de crescimento aderido (R1, com leito de brita nº4) e o outro de crescimento disperso (R3, sem material suporte para crescimento microbiano), além de um tanque séptico que precedia os reatores. Este sistema foi instalado na Residência Universitária da UFPB, em João Pessoa-PB. O esgoto a ser tratado era proveniente de dois banheiros que atendiam a uma população teórica de 4 habitantes. Foram realizadas 11 coletas do efluente do tanque séptico e dos efluentes dos reatores, no período compreendido entre 28/02/2013 e 10/12/2013. A temperatura e o pH nos reatores se apresentaram na faixa 24.5 - 28.1 °C e 7.3 - 8.1, respectivamente, valores estes, propícios ao tratamento anaeróbio de esgotos domésticos. As eficiências de remoção de DBO<sub>5</sub> (32.8 e 27.1% em R1 e R3, respectivamente), DQO (43.4 e 33.0% em R1 e R3, respectivamente), SST (56.2 e 48.0%, em R1 e R3, respectivamente) e SSV (54.7 e 46.2%, em R1 e R3, respectivamente) foram elevadas. Isto demonstra a aplicabilidade desses sistemas a unidades habitacionais desprovidas de sistema coletivo de esgotamento sanitário, na redução da carga poluidora lançada em corpos aquáticos. Análise de variância demonstrou não haver diferenças significativas ao nível de 5% entre as médias dos parâmetros correspondentes nos dois reatores, sugerindo que, para reatores que recebam vazões com atenuação dos picos, não há necessidade do meio suporte, podendo representar diminuição nos custos envolvidos.

**Palavras chave:** esgoto doméstico, tratamento de esgoto, reator anaeróbio, crescimento aderido, crescimento disperso.

---

## Introdução

Os serviços públicos de saneamento básico são imprescindíveis para a garantia da saúde, da segurança e da qualidade de vida da população. Sendo assim, a falta ou até mesmo a ineficiência na prestação desses serviços podem resultar em elevados índices de morbidade e mortalidade.

Sabe-se que o lançamento de esgotos domésticos brutos no meio ambiente acarreta a poluição dos recursos hídricos, trazendo prejuízos à saúde da população. Os países em desenvolvimento são os que mais sofrem com essa realidade, carecendo de instalações apropriadas de coleta e de tratamento de águas residuárias (Al-Shayah e Mahmoud, 2008). No Brasil, a poluição dos recursos hídricos pelo lançamento de esgotos domésticos "in natura" é um problema persistente e vem se agravando ainda mais com o intenso crescimento populacional ocorrido nos últimos anos.

Para ressaltar o descaso com relação aos índices de esgotamento sanitário, no Brasil no ano de 2012, o índice de atendimento urbano com rede coletora de esgoto era de apenas 56.1% da população urbana, no entanto, o tratamento, era realizado para apenas 38.7% do volume total de esgoto gerado. No mesmo ano, na Região Nordeste do Brasil, apenas 29.4% da população urbana tinha acesso à rede coletora de esgoto, enquanto o índice de tratamento atingia apenas 30,1% do volume total de esgoto gerado (SNIS, 2014). Os dados retratam as desigualdades regionais na oferta desses serviços essenciais à população.

Considerando estes baixos índices de cobertura por sistemas de esgotamento sanitário, constata-se a necessidade da implantação de sistemas simplificados de coleta e tratamento dos esgotos, sejam eles individuais ou coletivos. Estes sistemas devem ser de baixo custo de implantação e operação, eficientes, simples de operar e sustentáveis. Desta forma, deve-se ainda levar em conta a realidade das diferentes regiões brasileiras, adequando a tecnologia aos recursos disponíveis.

A lei Federal nº 11.445/2007, que estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico, em seu Art. 45, § 1º, diz que: “Na ausência de redes públicas de saneamento básico, serão admitidas soluções individuais de abastecimento de água e de afastamento e destinação final dos esgotos sanitários, observadas as normas editadas pela entidade reguladora e pelos órgãos responsáveis pelas políticas ambiental, sanitária e de recursos hídricos” (Brasil, 2007). Em consequência, poderão ocorrer melhorias significativas dos indicadores de coleta e tratamento de esgotos no Brasil.

O tanque séptico, devido à sua simplicidade e ao baixo custo, é, provavelmente, o sistema mais largamente aplicado no mundo para o tratamento de esgotos de domicílios individuais, sendo a eficiência relativamente baixa na remoção dos poluentes e a necessidade periódica de retirada de lodo são suas principais desvantagens (Van Haandel *et al.*, 2006). Uma etapa de pós-tratamento para remover a matéria orgânica remanescente, os nutrientes e os agentes patogênicos pode ser necessária, dependendo dos requisitos do tratamento.

O pós-tratamento de efluentes de tanques sépticos através de filtros anaeróbios se tornou bastante popular no Brasil a partir da década de 80 com a promulgação da NBR 7229 da ABNT, em 1982, atualizada em 1993, bem como a da NBR 13969, em 1997. Essa tecnologia continua sendo intensivamente utilizada (Sobrinho e Jordão, 2001). A NBR 13969/97 (ABNT, 1997) aponta que a eficiência de remoção de matéria orgânica biodegradável de um conjunto tanque séptico - filtro anaeróbio pode variar de 40 a 75%. Na pesquisa realizada por Ávila (2005) foram alcançadas eficiências de remoção para o conjunto, tanque séptico - filtro anaeróbio, de 67.4% para a DBO<sub>5</sub> e de 73.6% para a DQO. Analisando-se a remoção apenas do filtro anaeróbio com leito de brita nº 4, Ávila (2005) obteve 27.5% de remoção para DBO<sub>5</sub> e 54.4% para DQO. Resultados semelhantes foram relatados por Jordão *et al.*, (2005), Da Silva *et al.*, (2013) e Lobão *et al.*, (2013).

Ainda com relação ao filtro anaeróbio, ressalta-se que a utilização de meios suportes, notadamente o mais comumente utilizado, que é a brita, ocupa um determinado volume no reator, com conseqüente diminuição no tempo de detenção hidráulica para um dado volume de reator. No entanto, espera-se que esta perda de tempo de detenção se contraponha à melhoria de desempenho ocasionada pelo crescimento mais eficiente do biofilme aderido ao meio suporte.

No Brasil, sistemas simplificados, tais como, o tanque séptico seguido por filtro anaeróbio já são bastante utilizados em meios rurais e em comunidades de pequeno porte. Ademais, diante da atual situação do saneamento no país, pode-se admitir que os sistemas simplificados de tratamento de esgotos tendem a ser amplamente adotados como solução sanitária também nas periferias das grandes cidades, por geralmente serem localidades de difícil implantação de redes coletoras.

A presente pesquisa utiliza um sistema composto por tanque séptico, seguido de dois reatores anaeróbios de fluxo ascendente, em paralelo, sendo um deles dotado de meio suporte para o crescimento microbiano e o outro desprovido deste meio suporte. Optou-se pela não utilização de meio suporte em um dos reatores, no intuito de proporcionar um aproveitamento máximo reacional do reator, em função do aumento do tempo de detenção hidráulica e possivelmente o tempo de retenção celular para um determinado volume do reator.

Estudos sobre o tratamento de esgotos domésticos através de tanques sépticos seguidos por reatores anaeróbios de fluxo ascendente com crescimento disperso são relativamente escassos, motivo pelo qual esses sistemas necessitam de uma maior investigação. Destacam-se as pesquisas realizadas por Luostarinen e Rintala (2005; 2007), que, em escala de laboratório estudaram um tanque séptico de fluxo ascendente seguido por um reator UASB tratando águas negras sintéticas numa simulação de um sistema de tratamento local. Luostarinen *et al.*, (2007), Al-Shayah e Mahmoud (2008) e Al-Jamal e Mahmoud (2009) realizaram pesquisas semelhantes, diferindo principalmente na quantidade de fases do sistema (fase única).

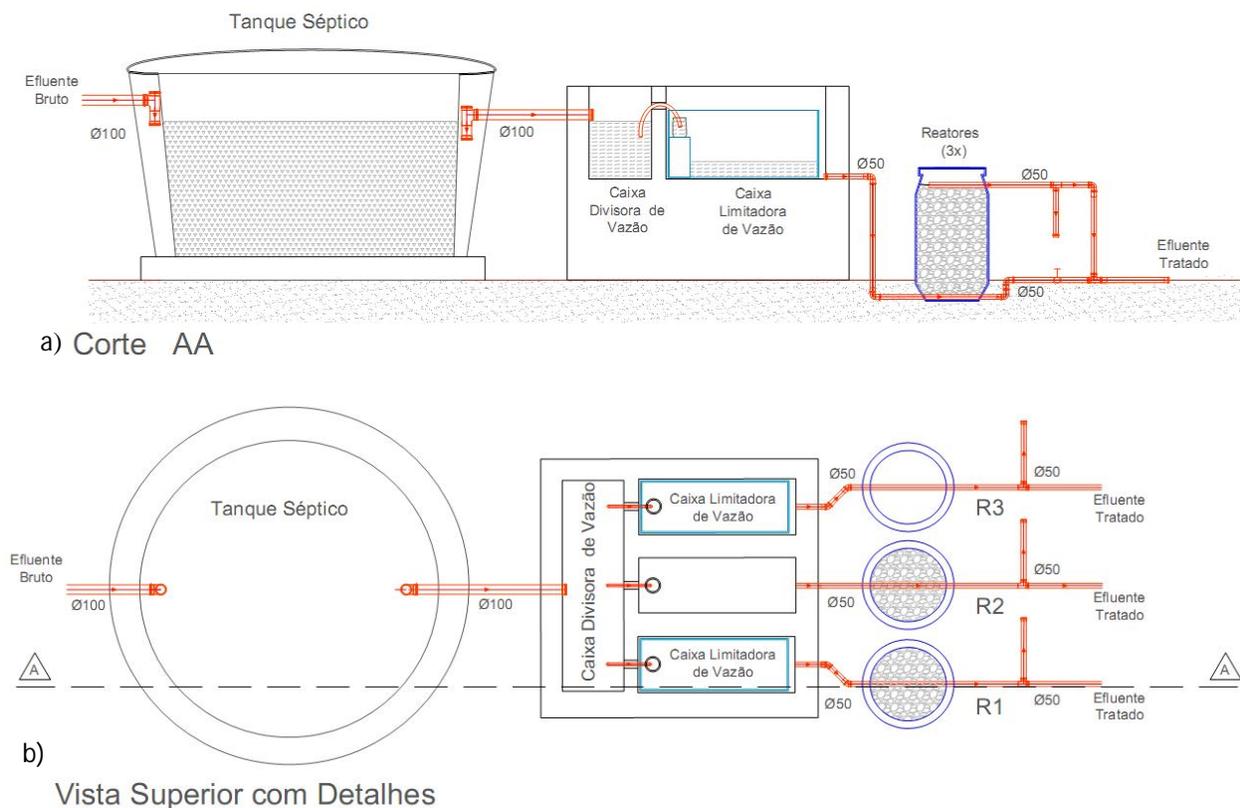
Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi comparar a eficiência na remoção de matéria orgânica entre reatores anaeróbios com crescimento microbiano aderido (com meio suporte de brita nº 4), com reatores anaeróbios com crescimento microbiano disperso, ambos tratando efluente de tanque séptico e mantidos seus volumes aparentes iguais, como parâmetro para comparação.

## Material e métodos

### Descrição geral do sistema experimental

A pesquisa foi realizada em um sistema de tratamento de esgotos domésticos localizado na Residência Universitária do Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), na cidade de João Pessoa-PB. A cidade possui clima tropical e segundo dados da estação meteorológica do Laboratório de Energia Solar (LES) da UFPB, sua temperatura média anual vem aumentando de 26 °C para valores acima de 27 °C nos últimos 26 anos (Sobreira *et al.*, 2011).

O sistema anaeróbico de tratamento de esgotos domésticos foi inicialmente dimensionado e instalado por Fernandes (2012), em pesquisa anterior. Algumas adaptações foram feitas para a atual fase da pesquisa. O sistema atual consiste de: 1 tanque séptico, 1 caixa distribuidora de vazão, 2 caixas limitadoras de vazão e 3 reatores anaeróbios de fluxo ascendente em paralelo: R1, R2 e R3 conforme Figuras 1 (a) e (b); e 2. O reator R2 não foi objeto de estudo deste artigo.



**Figura 1.** Desenho esquemático do sistema de tratamento de esgotos: a) Perfil (em cima); b) Planta (embaixo)

O sistema foi alimentado por uma derivação dos tubos de queda de dois banheiros localizados no andar superior da Residência Universitária da UFPB (Figura 2). Não houve contribuição de esgoto de pia de cozinha ou lavanderia. Segundo Fernandes (2012), essa também é uma realidade em algumas residências periurbanas, onde apenas o esgoto do banheiro é lançado em tanque séptico.



**Figura 2.** Foto geral do sistema de tanque séptico e demais reatores anaeróbios

O esgoto passava primeiramente pelo tanque séptico, onde ocorria o tratamento primário. Para esta unidade de tratamento o dimensionamento foi realizado de acordo com o prescrito na NBR 7229 (ABNT, 1993) e utilizou-se um reservatório em resina plástica com fibra de vidro de 2000 litros.

Em seguida, o efluente passava por uma caixa distribuidora de vazão, no intuito de distribuir as vazões igualmente para os reatores. A distribuição equitativa da vazão afluyente ocorria por meio de três sifões nos quais, à medida que o nível de esgoto subia no compartimento inicial, ocorria o transbordamento simultâneo de recipientes cuidadosamente nivelados e localizados à montante de cada reator (Figura 3).

**Caixa distribuidora de vazão**



**Figura 3.** Caixa distribuidora de vazão

**Caixas limitadoras de vazão**



**Figura 4.** Caixas limitadoras de vazão

Posteriormente e antes do efluente chegar aos reatores 1 e 3, o mesmo passava ainda por uma caixa limitadora de vazão à montante de cada reator (Figura 4). Cada caixa limitadora continha um orifício descarregador de fundo com diâmetro pré-dimensionado que limitava a vazão afluyente aos reatores, no intuito de não permitir picos de vazão, já reportados por Fernandes (2012) e indesejáveis para a pesquisa em questão.

O orifício descarregador de fundo de cada caixa limitadora deveria conduzir uma vazão limitada a 596,6 l/d (três vezes a vazão média esperada para cada reator) e a caixa deveria ser capaz de armazenar os volumes referentes aos picos de vazão que ultrapassassem a vazão adotada. A vazão média esperada para cada reator baseou-se em pesquisa anterior desenvolvida neste mesmo sistema por Fernandes (2012).

É conveniente destacar aqui que, os sistemas individuais, por não possuírem extensas redes coletoras, tais como os sistemas coletivos convencionais, estão mais sujeitos às grandes variações e picos excessivos da vazão afluyente, podendo provocar a perda excessiva de sólidos nos reatores. Em função disto, os reatores 1 e 3 foram operados com vazões limitadas pelas caixas.

As caixas limitadoras de vazão foram confeccionadas em chapas de nylon com 6 mm de espessura. A capacidade total de armazenamento de cada caixa limitadora de vazão, de acordo com suas dimensões internas (21.0 cm largura x 69.2 cm de comprimento x 28.0 cm de altura), foi calculada em 40.7 litros.

O dimensionamento dos reatores anaeróbios de fluxo ascendente foi realizado com base na NBR 13969 (ABNT, 1997). Para os reatores anaeróbios de fluxo ascendente foram utilizadas três bombonas de polietileno, cujo volume nominal era de 200 litros. O reator R1, com crescimento microbiano aderido, teve todo o seu volume preenchido com a brita nº 4, resultando numa altura útil de 0.78 m (Figuras 5a e 5b). O reator R3, com crescimento microbiano disperso, não possuía material de enchimento (Figuras 6a e 6b). O reator R2 fazia parte de outra pesquisa que estava sendo desenvolvida simultaneamente a esta, sendo o mesmo considerado apenas para efeito de dimensionamento do sistema.

A fonte de inóculo para a presente pesquisa foi proveniente da pesquisa anterior, realizada neste mesmo sistema experimental, por Fernandes (2012), sendo que para o tanque séptico, quando da remoção do lodo digerido, aproximadamente 10% de seu volume foram deixados no interior do tanque, conforme recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993). Para os reatores anaeróbios de fluxo ascendente, os resquícios de lodo que ficaram aderidos às paredes internas e no fundo dos reatores anaeróbios (Figuras 5a e 6a), serviram como fonte de inóculo.



**Figura 5a.** Reator 1 - sem esgoto.



**Figura 5b.** Reator 1 - com esgoto



**Figura 6a.** Reator 3 - sem esgoto



**Figura 6b.** Reator 3 - com esgoto.

### Medições de vazão

As medições de vazão dos reatores foram realizadas com o auxílio de vasilhames, provetas e cronômetro. Marcando-se o tempo necessário para que os vasilhames acondicionassem um determinado volume de esgoto e medindo-se com provetas, tinha-se a vazão efluente dos reatores. As mensurações eram feitas sempre das 07h às 19h, sempre que possível, com uma frequência quinzenal.

### Análises físico-químicas

Foram realizadas onze coletas, sendo uma a cada mês, compreendendo o período entre fevereiro e dezembro de 2013.

Foram coletadas amostras simples dos pontos descritos a seguir: efluente do tanque séptico (TS); efluente do reator 1 (R1); e efluente do reator 3 (R3). As coletas eram realizadas sempre no turno da manhã, aproximadamente às 07h.

Na Tabela 1 estão apresentados os parâmetros analisados e os métodos analíticos utilizados, que seguiram as recomendações descritas em APHA *et al.*, (1999).

**Tabela 1.** Parâmetros analisados e métodos utilizados

Parâmetros	Unidade	Métodos de análise	Referência
pH	-	Eletrométrico	4500 B
Temperatura	°C	Eletrométrico	2550 B
SST	mg/L	Gravimétrico	2540 D
SSV	mg/L	Gravimétrico	2540 E
Sólidos Sedimentáveis	mL/L	Cone Imhoff	2540 F
Turbidez	UNT	Nefelométrico	2130 B
Alcalinidade Total	mg/L	Titulação potenciométrica	2320 B
DBO <sub>5</sub>	mg/L	Manométrico (Oxitop)	5210 D
DQO	mg/L	Titulométrico - Refluxação fechada	5220 C

### Análises estatísticas

O conjunto dos dados coletados de cada parâmetro físico-químico nos pontos amostrados (TS, R1 e R3) foi primeiramente submetido ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5% (Sokal e Rohlf, 2012).

Subsequentemente, os dados foram submetidos a tratamento estatístico utilizando a análise de variância, a qual foi aplicada aos conjuntos de dados de um mesmo parâmetro analisado dos pontos de coleta ETS, ER1 e ER3. A finalidade desta técnica é estabelecer a existência de diferenças significativas entre as médias desses conjuntos. O nível de significância considerado foi de 5%.

Gráficos do tipo boxplot foram utilizados para visualizar a dispersão dos dados, bem como para verificar a existência de possíveis valores discrepantes. Através destes gráficos visualizam-se a mediana, os quartis 25% e 75% e as observações máxima e mínima dos dados sobre os parâmetros analisados em cada um dos pontos amostrados.

## **Resultados e discussão**

### Medições de vazão

A importância da vazão para a pesquisa em questão era de fornecer vazões afluentes iguais para os reatores a fim de tornar possível uma comparação fidedigna entre as eficiências de remoção dos poluentes, sem favorecimento de um ou de outro.

As vazões médias encontradas na presente pesquisa encontram-se na Tabela 2. Na Tabela 3 são apresentados alguns parâmetros importantes dos reatores anaeróbios tais como o volume de vazios, o índice de vazios e o TDH para as vazões médias.

**Tabela 2.** Vazões médias dos reatores anaeróbios

Reatores	R1	R2	R3	TS
Vazão (L/d)	241.4	237.5	230.2	709.2

**Tabela 3.** Volume de vazios, índice de vazios e TDH dos reatores anaeróbios para as vazões médias

Reatores anaeróbios	Volume de vazios (L)	Índice de vazios (%)	TDH aparente (d)	TDH real (d)
TS	1536.1	100.0	2.17	2.17
R1	99.1	49.3	0.83	0.41
R3	201.0	100.0	0.87	0.87

### Análises físico-químicas

O conjunto dos dados coletados de cada parâmetro físico-químico dos reatores (TS, R1 e R3) quando submetidos ao teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov ao nível de significância de 5% (Sokal e Rohlf, 2012), mostraram que, com exceção dos sólidos sedimentáveis, todos os parâmetros físico-químicos apresentam distribuição normal.

Os parâmetros físico-químicos foram então discutidos com base na Tabela 4, onde constam os valores médios e seus respectivos desvios-padrão de cada um dos efluentes dos reatores, as eficiências de remoção dos diversos parâmetros para os reatores 1 e 3 e as análises de variância entre as médias dos conjuntos. Nas Figuras 7 a 14 também são apresentados os gráficos de boxplot dos parâmetros analisados.

Com base na Tabela 4, a análise de variância, quando aplicada aos parâmetros de monitoramento (temperatura, pH e alcalinidade total), mostrou que, estatisticamente não houve diferença entre os efluentes dos reatores para uma significância de 5%.

Para os parâmetros relacionados à eficiência do sistema (DBO, DQO, SST, SSV e turbidez), verificou-se que houve diferença estatística significativa ao nível de 5% entre o efluente do TS e os efluentes dos reatores 1 e 3. Quando comparados os efluentes dos reatores 1 e 3 entre si não houve diferença estatística para uma significância de 5% para a maioria dos parâmetros, à exceção do SSV que mostrou o reator R1 um pouco mais eficiente que o R3.

Segundo Von Sperling (1996) e Foresti et al., (1999) a biomassa é mais frequentemente expressa em termos de sólidos em suspensão voláteis (SSV). Deste modo, isto pode ser uma justificativa possível para que o reator 3 (crescimento disperso) apresente valores de sólidos suspensos voláteis mais elevados que no reator 1 (crescimento aderido), tendo em vista que nos filtros anaeróbios a maior parte da biomassa encontra-se aderida ao meio suporte ou retida em seus interstícios, enquanto que em reatores com crescimento disperso a biomassa encontra-se dispersa no meio líquido.

**Tabela 4.** Valores médios, desvios-padrão, ANOVA<sup>1</sup> e eficiências de remoção

Parâmetros \ Reatores	TS				R1				R3				Eficiência (%)	
	n	Média	DesvPad	ANOVA	n	Média	DesvPad	ANOVA	n	Média	DesvPad	ANOVA	R1	R3
pH	11	7.7	0.2	a	11	7.8	0.2	a	11	7.7	0.2	a	-	-
Temperatura (°C)	11	26.8	1.1	a	11	26.5	1.3	a	11	26.5	1.3	a	-	-
Alcalinidade (mg/L)	33	273.8	44.4	a	33	285.2	34.7	a	33	278.2	32.9	a	-	-
Turbidez (UNT)	33	47.6	17.7	a	33	23.9	9.8	b	33	26.3	9.9	b	49.8	44.7
Sólidos Sed. (mL/L)	11	0.4	0.5	-	11	0.0	0.0	-	11	0.0	0.1	-	97.8	91.1
SST (mg/L)	22	86.4	20.4	a	22	37.8	8.8	b	22	45.0	7.6	b	56.2	48.0
SSV (mg/L)	22	79.9	19.4	a	22	36.2	8.3	b	22	43.0	6.0	c	54.7	46.2
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	33	110.7	27.8	a	33	74.4	18.5	b	33	80.7	15.0	b	32.8	27.1
DQO (mg/L)	33	192.3	51.4	a	33	108.8	29.8	b	33	128.8	25.3	b	43.4	33.0

<sup>1</sup>Letras iguais nas linhas indicam que não houve diferenças estatísticas significativas entre as médias dos reatores ao nível de significância de 5%.  
n - tamanho amostral

#### Remoção de matéria orgânica (DBO<sub>5</sub> e DQO)

Os gráficos de boxplot para DBO<sub>5</sub> e DQO (Figuras 7 e 8) retrataram de uma forma geral, a melhoria no funcionamento das unidades de tratamento, tendo em vista que tanto o tanque séptico quanto os reatores de fluxo ascendente conseguiram reter os sólidos (biomassa) imprescindíveis ao tratamento biológico. O tanque séptico, através da sedimentação dos sólidos grosseiros, constituindo o lodo de fundo, promove também a degradação anaeróbia dos despejos afluentes. O reator 1, através da retenção da biomassa aderida ao meio suporte e em seus interstícios, promove a degradação da matéria orgânica que flui através do leito filtrante. O reator 3, através da retenção de biomassa no fundo, formam uma zona de elevada atividade bacteriana, que é atravessada pelo esgoto em fluxo ascendente, promovendo o tratamento do mesmo.

Nos gráficos de boxplot da DBO<sub>5</sub> e da DQO (Figuras 7 e 8) observou-se um distanciamento entre o efluente do TS e os efluentes dos reatores 1 e 3, indicando, portanto remoções destes parâmetros. Conforme a Tabela 4, as eficiências de remoção de DBO<sub>5</sub> foram de 32.8% e 27.1%, para os reatores 1 e 3 (sem diferença estatística ao nível de 5%), respectivamente, e para a DQO foram de 43.4% e 33.0%, para os reatores 1 e 3 (sem diferença estatística ao nível de 5%), respectivamente. Estas foram análogas às alcançadas nos trabalhos de Silva (2003) e Ávila (2005).

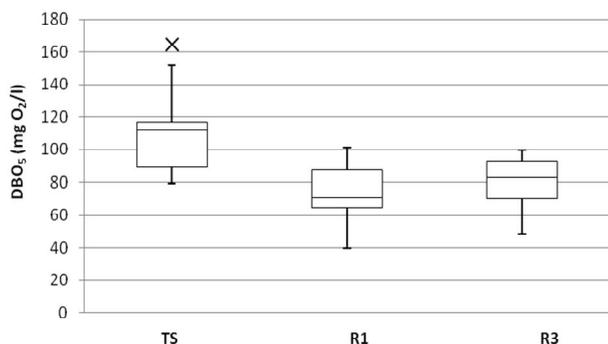


Figura 7. Boxplot da DBO<sub>5</sub>

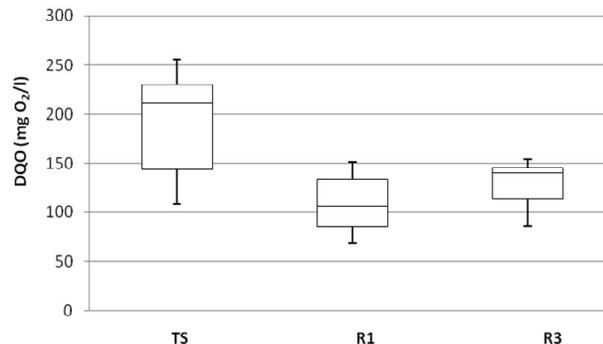


Figura 8. Boxplot da DQO

As eficiências de remoção de DQO para os reatores 1 e 3 também foram similares às encontrados por Luostarinen e Rintala (2005; 2007) tratando águas negras sintéticas, no entanto, com tempos de detenção hidráulica inferiores quando comparados aos referidos estudos.

#### Remoção de material particulado

Nos gráficos de boxplot dos SST e SSV (Figuras 9 e 10) observou-se uma diferença entre o efluente do TS e os efluentes dos reatores 1 e 3, indicando, portanto remoções destes parâmetros. Conforme a Tabela 4, as eficiências de remoção de SST para os reatores 1 e 3 foram de 56.2% e 48.0% (sem diferença estatística ao nível de 5%), respectivamente. Essas eficiências foram semelhantes às mencionadas por Silva (2003) e Ávila (2005). Para os SSV, as eficiências de remoção para os reatores 1 e 3 foram de 54.7% e 46.2% (diferentes estatisticamente ao nível de 5%), respectivamente. As eficiências de remoção para este parâmetro também foram semelhantes à mencionada por Ávila (2005).

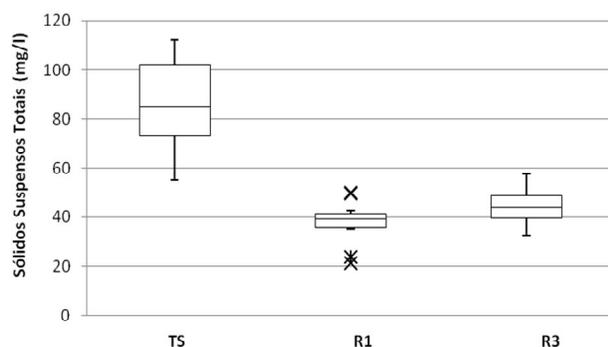


Figura 9. Boxplot dos SST

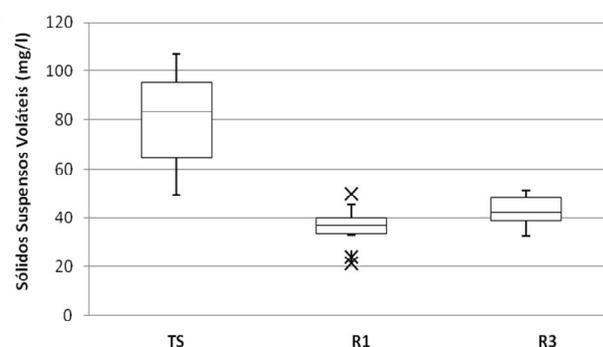


Figura 10. Boxplot dos SSV

Os sólidos suspensos podem provocar consequências indesejáveis nos corpos receptores, como o aumento da demanda de oxigênio. Luostarinen *et al.*, (2007) afirmam que os sólidos suspensos também podem causar a formação de camadas de espuma e lavagem repentina de lodo, se eles só são acumulados e não estabilizados dentro do reator.

Dentre os reatores anaeróbios de fluxo ascendente, o único que necessitou de algum tipo de operação e/ou manutenção foi o reator 1. O crescimento do biofilme aderido ao meio de brita dificultou ou impediu por diversas vezes o fluxo ascensional do esgoto, ocorrência esta que tornou necessária a descarga do lodo excedente. As descargas de fundo realizadas no reator 1 foram num total de nove, sendo a primeira com três meses após a interligação dos tubos de queda ao sistema e as outras oito com intervalos de aproximadamente 25 dias entre uma e outra.

Na prática, as descargas de lodo excedente podem ser realizadas quando for evidente a perda na qualidade do efluente principalmente devido aos sólidos sedimentáveis e sólidos suspensos. Segundo Chernicharo (2007) em reatores com crescimento disperso (UASB), a adoção de uma frequência adequada de descarte de lodo reflete em uma menor perda de sólidos juntamente com o efluente final, implicando numa melhor qualidade do mesmo, em termos de sólidos suspensos, DQO e DBO. A eficiência de remoção de SSV, um pouco mais baixa no R3 do que no R1 pode também ter sido o reflexo da não realização das descargas de fundo periódicas apontadas acima.

Durante o período estudado não houve a necessidade da realização de descargas de fundo no reator 3, configurando-se portanto, numa vantagem desta alternativa, pois, além da redução de custos com a não implantação de meio suporte pode aliar simplicidade operacional. Essas observações estão de acordo com a literatura sobre um sistema semelhante ao da presente pesquisa, o reator tanque séptico UASB, onde o tempo de residência de lodo ativo (biomassa) do sistema é longo e a retirada do lodo de excesso pode ser feita uma vez a cada 1 a 4 anos (Zeeman *et al.*, 2000) *apud* (Al-Shayah e Mahmoud, 2008). Por outro lado, ressalta-se que para tempos de operação superiores aos da presente pesquisa, vislumbra-se que haverá a necessidade de descarte de lodo.

Conforme a Tabela 4, as eficiências de remoção de sólidos sedimentáveis para os reatores 1 e 3 foram de 97.8% e 91.1%, respectivamente. As mesmas foram semelhantes às obtidas por Mazzola *et al.*, (2005) tratando também esgotos domésticos num reator anaeróbio compartimentado (RAC).

No gráfico de boxplot da turbidez observou-se certa diferença entre o efluente do TS e os efluentes dos reatores 1 e 3, indicando, remoções significativas deste parâmetro (Figura 11). Conforme a Tabela 4, as eficiências na remoção de turbidez para os reatores 1 e 3 foram de

49.8% e 44.7% (sem diferença estatística ao nível de 5%), respectivamente. Estas foram semelhantes às eficiências na remoção de SST e SSV da presente pesquisa, estando, portanto de acordo com Pessoa e Jordão (1995) quando afirmam que a turbidez pode ser medida para caracterizar a eficiência do tratamento secundário, podendo ser relacionada à concentração de sólidos em suspensão. Ávila (2005) também reportou eficiências na remoção de turbidez semelhantes às da presente pesquisa.

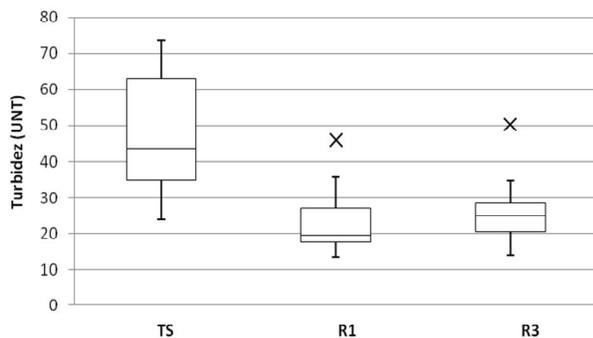


Figura 11. Boxplot da turbidez

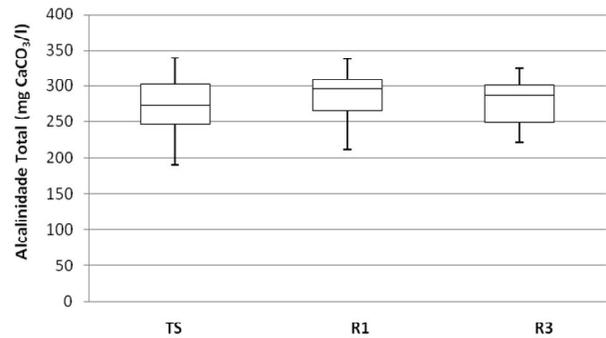


Figura 12. Boxplot da alcalinidade total

### Alcalinidade total

A alcalinidade total se comportou de forma semelhante em todos os reatores sendo que a maior parte dos dados estavam concentrados entre 246.0 e 308.1 mg CaCO<sub>3</sub>.L<sup>-1</sup> (Figura 12). Estes valores foram superiores aos da alcalinidade de esgotos domésticos brutos mostrados por Metcalf e Eddy (1991). Os valores foram semelhantes aos da alcalinidade do esgoto bruto da cidade de João Pessoa afluente à ETE Mangabeira mostrada por Baracuhy (2006).

Os altos valores desse parâmetro indicam uma elevada capacidade de tamponamento do meio, protegendo os reatores contra possíveis choques de pH. Do contrário os baixos valores permitiriam o acúmulo dos ácidos formados pela digestão anaeróbia, podendo levar à falha no sistema (azedamento dos reatores).

### Temperatura

A temperatura nos efluentes dos reatores em nenhum momento foi inferior a 24.5 °C e para a totalidade dos dados se apresentou entre 24.5 e 28.1, ficando, portanto, na faixa mesófila e bem próxima à temperatura considerada ótima para a formação de metano, sendo que isso foi conseguido em função apenas da temperatura ambiente local (Figura 13). Isto favoreceu a viabilidade e eficiência do sistema, uma vez que a temperatura é um fator limitante para os reatores anaeróbios. Segundo Luostarinen *et al.*, (2007) quanto maior a temperatura, maior a taxa de conversão de matéria orgânica.

Segundo Batstone *et al.*, (2002) *apud* Chernicharo (2007) três faixas de temperatura podem ser associadas ao crescimento microbiano na maioria dos processos biológicos: faixa psicrófila (4 e 15°C); faixa mesófila (20 e 40°C) e termófila (45 e 70°C). Segundo Van Haandel e Lettinga (1994) o tratamento de esgotos por processos anaeróbios tem sido associado a uma temperatura ótima que varia de 30 a 35°C.

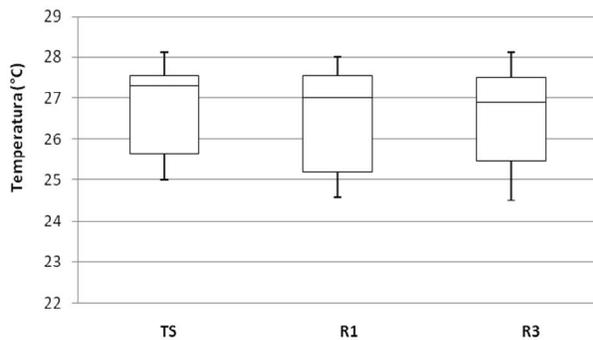


Figura 13. Boxplot da temperatura

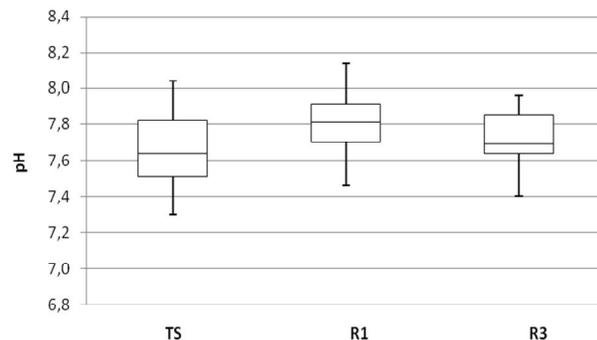


Figura 14. Boxplot do pH

### pH

O pH nos efluentes dos reatores se apresentou na faixa 7.3 - 8.1 (Figura 14), valores estes, propícios ao tratamento anaeróbio de esgotos domésticos, segundo Van Haandel e Lettinga (1994) e Chernicharo (2007). Esses valores ficaram relativamente próximos à neutralidade, faixa esta que, segundo os autores supracitados os organismos produtores de metano têm um crescimento ótimo.

De acordo com a literatura, Van Haandel e Lettinga (1994) e Foresti *et al.*, (1999), a obtenção de valores de pH próximos à faixa da neutralidade normalmente não é um problema em sistemas de tratamento anaeróbio de esgotos domésticos, pois nestes sistemas ocorre a predominância do sistema carbônico, responsável pela capacidade de tamponamento do meio.

### Conclusões

As eficiências de remoção de DBO<sub>5</sub>, DQO, SST e SSV para ambos os reatores 1 e 3 foram elevadas para este tipo de tratamento. Os resultados confirmam a aplicabilidade desses sistemas de baixo custo a unidades habitacionais desprovidas de sistema coletivo de esgotamento sanitário, na redução da carga poluidora lançada em corpos aquáticos.

À exceção dos SSV, constatou-se que não houve diferença estatística significativa na eficiência de remoção de alguns dos principais poluentes dos esgotos entre os dois reatores. Portanto, pode-se afirmar que os dois reatores são equivalentes em termos de eficiência de remoção. Então, em localidades onde não exista brita ou sua aquisição seja economicamente inviável, o reator com crescimento disperso pode apresentar-se como uma alternativa de tratamento sem perda significativa na eficiência em relação ao reator de crescimento aderido, desde que seja operado com vazões limitadas/regularizadas. Enfatiza-se neste ponto, a importância do dispositivo limitador de vazão.

Em função das eficiências de remoção dos parâmetros indicadores de matéria orgânica serem bastante semelhantes, sugere-se que, para reatores que recebem vazões com atenuação dos picos, não há necessidade do meio suporte, podendo representar diminuição nos custos envolvidos, uma vez que o dispositivo de limitação de vazão é possivelmente de mais baixo custo que o volume de brita necessário para enchimento do reator. Sugere-se um estudo comparativo de custos entre as duas opções.

Ademais, o uso do reator com crescimento disperso em substituição ao filtro anaeróbio com brita é interessante, levando em consideração a preservação ambiental, já que a extração da brita, um recurso natural não renovável, implica em forte degradação do meio ambiente. Há ainda que se considerar a questão da frequente obstrução do filtro com leito de brita, podendo ser considerada como mais uma desvantagem desta opção, comprometendo a característica do sistema de ser de fácil manutenção.

### Referências bibliográficas

- Al-Jamal, W., Mahmoud, N., (2009) Community onsite treatment of cold strong sewage in a UASB-septic tank, *Bioresource Technology*, **100**, 1061–1068.
- Al-Shayah, M., Mahmoud, N. (2008) Start-up of an UASB-septic tank for community on-site treatment of strong domestic sewage, *Bioresource Technology*, **99**, 7758–7766.
- APHA / AWWA / WEF. (1999) *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20<sup>th</sup> edition. American Public Health Association, New York, 2671 pp.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1993) *NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*, Rio de Janeiro, 15 pp.
- ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997) *NBR 13969: Tanques Sépticos Unidades de Tratamento Complementar e Disposição Final dos Efluentes Líquidos Projeto, Construção e Operação*, Rio de Janeiro, 60 pp.
- Avila, R.O. (2005) Avaliação do Desempenho de Sistemas Tanque Séptico-Filtro Anaeróbio com Diferentes Tipos de Meio Suporte. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 166 pp.
- Baracuh, M.P. (2006) Desempenho Operacional do Módulo 2 da Estação de Tratamento de Esgoto de Mangabeira na Grande João Pessoa. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia, Campina Grande, 88 pp.

- Brasil (2007) *Lei nº 11.445*, de 05 de janeiro de 2007. Brasília, DF: [s.n]. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm)>. Acesso em: 18 fev. 2014.
- Chernicharo, C.A.L. (2007) *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 5. Reatores anaeróbios*. 2. Ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Belo Horizonte, Universidade Federal de Minas Gerais, 380 pp.
- Da Silva, F.J.A., Lima, M.G.S., Mendonça, L.A.R., Gomes, M.J.T.L. (2013) Septic tank combined with anaerobic filter and conventional UASB - Results from full scale plants, *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, **30** (1), 133-140.
- Fernandes, W.V. (2012) Uso da *Luffa cylindrica* como meio suporte para crescimento bacteriano em filtro anaeróbio tratando esgotos domésticos. Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Urbana e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Centro de Tecnologia, João Pessoa - PB, 99 pp.
- Foresti, E., Florêncio, L., Van Haandel, A., Zaiat, M., Cavalcanti, P.F.F. (1999) Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo. José Roberto Campos. (coordenador). 1. ed., Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, ABES, Rio de Janeiro, 464 pp.
- Jordão, E.P., Avila, R.O., Junior, I.V., Azevedo, J.P.S. (2005) Desempenho de filtros anaeróbios segundo diferentes meios suporte e alturas de percolação. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18 a 23 de setembro, Campo Grande-MS, 6 pp.
- Lobão, J.R.S., Aquino, M.D., Souza, R.O., Moreira, R.T., Filho, F.C.S. (2013) Estudo operacional comparativo em diferentes concepções de ETES em Fortaleza. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*, **6**(2), 12-25.
- Luostarinen, S.A., Rintala, J.A. (2005) Anaerobic on-site treatment of black water and dairy parlour wastewater in UASB-septic tanks at low temperatures, *Water Research*, **39**, 436–448.
- Luostarinen, S.A., Rintala, J.A.; (2007) Anaerobic on-site treatment of kitchen waste in combination with black water in UASB-septic tanks at low temperatures, *Bioresource Technology*, **98**, 1734–1740.
- Luostarinen, S., Sanders, W., Kujawa-Roeleveld, K., Zeeman, G., (2007) Effect of temperature on anaerobic treatment of black water in UASB-septic tank systems, *Bioresource Technology*, **98**, 980–986.
- Mazzola, M., Roston, D.M., Valentim, M.A.A. (2005) Uso de leitos cultivados de fluxo vertical por batelada no pós-tratamento de efluente de reator anaeróbio compartimentado, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, **9** (2), 276-283.
- Metcalf e Eddy. (1991) *Wastewater engineering, treatment, disposal and reuse*, 3ª edição. Nova Iorque: McGraw - Hill, International Editions.
- Pessoa, C.A., Jordão, E.P. (1995) Tratamento de esgotos domésticos. 3. Ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES. 720 pp.
- Silva, L.M. (2003) Avaliação da eficiência de sistema não convencional de esgotos sanitários e do impacto dos efluentes no corpo receptor. Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, UFSM, RS, Brasil.
- SNIS, Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2014): Diagnóstico dos serviços de água e esgotos 2012. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental - SNSA, 164 p. Brasília, abril.
- Sobreira, L.C., Leder, S.M., Da Silva, F.A.G., Rosa, P.R.O. (2011) Expansão Urbana e Variações Mesoclimáticas em João Pessoa, PB. *Ambiente Construído*, **11** (2), 125-138.
- Sobrinho, P.A.E., Jordão, E.P. (2001) Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios - Uma análise crítica - Capítulo 9. In: *Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios*, Carlos Augusto de Lemos Chernicharo (Coordenador). Belo Horizonte, 544 pp.
- Sokal, R.R., Rohlf, F.J. (2012) *Biometry: the principles and practice of statistics in biological research*, 4th ed. New York: W. H. Freeman.



- Van Haandel, A.C.; Lettinga, G. (1994) *Anaerobic sewage treatment: a practical guide for regions with a hot climate*. Chichester: J.Wiley. 226 pp.
- Van Haandel, A., Kato, M.T., Cavalcanti, P.F.F., Florencio, L. (2006) Anaerobic reactor design concepts for the treatment of domestic wastewater, *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 5, 21-38.
- Von Sperling, M. (1996) *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Vol. 2. Princípios básicos do tratamento de esgotos*, 7 Reimpressão, Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 211 pp.