



Sistema ecológico para tratamento de esgoto primário em assentamentos rurais do semiárido brasileiro

Ecological system for primary sewage treatment in rural communities of Brazilian semiarid

Rafael Oliveira Batista¹, Glícia Pinto Barra Reinaldo¹, João Marcelo Freire Segundo¹, Luis Cesar de Aquino Lemos Filho¹, Paulo Cesar Moura da Silva¹, Delfran Batista dos Santos²

¹Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Departamento de Ciências Ambientais e Tecnológicas, Avenida Francisco Mota, 572, Costa e Silva, CEP: 59625-900, Mossoró, RN. E-mail: rafaelbatista@ufersa.edu.br

²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Baiano (IF Baiano), Senhor do Bonfim, BA

Recebido em: 27/04/2012

Aceito em: 25/09/2013

Resumo. O presente trabalho objetivou analisar o desempenho de sistema alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico primário do assentamento Milagres em Apodi-RN. De 1 a 22 de dezembro de 2010, equivalente ao período de 48 a 70 dias após o plantio de capim elefante (*Pennisetum purpureum*), foram coletadas amostras do esgoto doméstico nas distintas etapas de tratamento, em quatro repetições no tempo, para determinação de características físico-químicas e microbiológicas referentes ao desempenho do sistema. Os resultados indicaram que houve remoção significativa de turbidez, coliformes totais e termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos, fósforo total, nitrogênio total e óleos e graxas com o uso do conjunto de decanto-digestor com filtros biológicos, sistema alagado construído e reator solar. A combinação de radiação solar de 25,16 MJ m⁻² d⁻¹, lâmina de 0,10 m de efluente e tempo de exposição solar de 12 horas em Apodi-RN permitiu remoção de até 99,99% dos coliformes termotolerantes e o efluente tratado apresenta padrão microbiológico que atende as diretrizes estaduais para fertirrigação de cultivos agrícolas não consumidos crus.

Palavras-chave. Água residuária, sistema alagado construído, reator solar

Abstract . This study aimed to analyze the performance of wetland and solar reactor on treatment of primary domestic sewage in a county of Milagres, Apodi-RN. During the period of 1 to 22 December 2010, equivalent to 48 to 70 days after planting of *Pennisetum purpureum*, samples were collected from domestic sewage at different stages of treatment in four replications in time, to determine physicochemical and microbiological characteristics about the system performance. The results showed that significant removal of turbidity, total and thermotolerant coliforms, biochemical oxygen demand, chemical oxygen demand, total solids, suspended solids, total phosphorus, total nitrogen and oil and grease were obtained using set of decant-digester with biological filters, wetland and solar reactor; the combination of solar radiation of 25.16 MJ m⁻² d⁻¹, 0.10 m depth of effluent and exposure to solar radiation time of 12 hours in Apodi-RN allowed removal of up to 99.99% of fecal coliform; and the treated effluent has microbiological state standard that meets guidelines for fertigation of crops not eaten raw.

Keywords. Waste water, wetland, solar reactor

Introdução

A falta de sistemas de coleta e tratamento dos esgotos domésticos é uma realidade nas áreas rurais de todo território brasileiro, sendo responsável por várias doenças que afetam diretamente a qualidade de vida da população.

De acordo com o Ministério das Cidades (2009) as principais doenças que surgem em função

da falta e condições inadequadas do saneamento são: poliomielite, hepatite, giardíase, disenteria amebiana, diarreias por vírus, febre tifóide, paratifóide, diarreias, disenterias bacterianas (cólera), ascaridíase (lombrigas), tricuriíase, ancilostomíase (amarelão), esquistossomose, Filariose (elefantíase), dengue, febre amarela e malária.



O esgotamento sanitário é uma ação do saneamento básico que consiste na implantação de rede coletora dos esgotos domésticos, estação de tratamento e sistema de disposição dos esgotos tratados no ambiente. Considerando as áreas urbanas e rurais no Brasil 44,8% dos municípios possuem rede coletora de esgoto doméstico, sendo que apenas 28,4% desses municípios possuem sistema de tratamento e disposição final dos esgotos tratados (IBGE, 2010).

Cerca de 54,3% da população rural recorre a soluções não adequadas para o tratamento do esgoto doméstico, como fossas rudimentares, valas e despejo do esgoto diretamente nos rios, lagos e mares, o que representa uma ameaça à saúde da população (Ministério das Cidades, 2009).

No que concerne às companhias de saneamento, o lançamento de esgoto doméstico bruto em corpos hídricos altera as características naturais da água, a partir do ponto de lançamento e compromete sua qualidade para consumo humano ou mesmo para uso em atividades agropecuárias.

Atualmente, as tecnologias utilizadas pelas companhias de saneamento tornam-se inviáveis para comunidades rurais de baixa renda de regiões semiáridas, tanto pelo alto custo de implantação e manutenção quanto pela grande dispersão populacional nas zonas rurais. Portanto, existem necessidades quanto ao desenvolvimento de tecnologias de baixo custo e de fácil operação para o tratamento de esgoto doméstico e que possibilite aumento de renda pelo uso do efluente tratado na fertirrigação de cultivos agrícolas, gerando sustentabilidade ambiental. Nesse sentido, destacam-se as seguintes tecnologias:

- *Tanques sépticos*: são tanques que objetivam a retenção de sólidos flutuantes, decantação de sólidos sedimentáveis, alteração das características da fase líquida, deposição acúmulo e adensamento do lodo decantado em regime de decomposição anaeróbia, digestão parcial da espuma, redução sensível do número de bactérias patogênicas. Este dispositivo é recomendado para o tratamento de efluentes gerados por até 300 pessoas, removendo em média 50% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (Matos, 2007).

- *Filtros anaeróbios*: são tanques de forma cilíndrica ou prismática de seção quadrada com fundo perfurado, preenchido com material inerte poroso que têm por finalidade proporcionar tratamento anaeróbio complementar ao obtido em tanques sépticos. O filtro anaeróbio é um dispositivo

que faz parte da etapa de tratamento primário e utiliza o método físico e biológico para remoção de poluente no tratamento de um efluente, removendo até 85% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (Matos, 2007).

- *Sistemas alagados construídos (SACs)*: são dispositivos construídos em alvenaria ou com manta impermeabilizante preenchidos internamente com material poroso e inerte (cascalho, brita, tampa de garrafa pet e outros). Sobre o meio filtrante são cultivadas espécies de plantas com grande capacidade de extração de poluentes presentes nos esgotos domésticos. Para evitar o surgimento de odores desagradáveis, insetos e animais peçonhentos recomenda-se a utilização de fluxo subsuperficial do esgoto doméstico (Matos, 2007). Prochaska et. al. (2008) obtiveram remoções de 52, 60 e 96% nas concentrações de fósforo total, nitrato e Demanda Química de Oxigênio em SAC abastecido com esgoto doméstico, tendo a *Phragmites australis* como planta extratora. Matos et al. (2010) utilizaram taboa (*Typha latifolia* L.), alternantera (*Alternanthera philoxeroides* (Mart.) Grieb.) e o capim tifton-85 (*Cynodon dactylon* Pers.) como plantas extratoras de poluentes em sistemas alagados construídos para o tratamento de água residuária de suinocultura. Com vazão média diária de 0,8 m³ foram obtidas remoções de 91, 89, 86 e 94% nas concentrações de sólidos suspensos, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio e zinco, respectivamente.

- *Reatores solares*: são tanques construídos em alvenaria ou fibra de vidro que possibilitam o armazenamento de esgoto doméstico para exposição direta à radiação solar local, visando a inativação dos microrganismos patogênicos. A Região Nordeste se apresenta como a mais promissora para a aplicação desta tecnologia. Nos estados do Piauí e Maranhão, durante o ano todo, é preciso dois dias de exposição solar, independentemente da profundidade (até 0,20 m) da água residuária a ser tratada. Nas Regiões Sudeste e Centro Oeste, durante o inverno, são necessários menos de 2,5 dias; enquanto, no resto do ano serão necessários dois dias de exposição solar (Sanches-Ramon et al., 2007).

O presente trabalho objetivou analisar o desempenho de sistema alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico primário do assentamento rural Milagres em Apodi-RN, no período de 1 a 22 de dezembro de 2010.

Material e Métodos

O presente trabalho foi realizado no Projeto de Assentamento Rural Milagres em Apodi-RN, situado a 100 km de Mossoró-RN, sob as coordenadas geográficas 5°35'22" de latitude sul e 37°54'09" de longitude oeste.

O assentamento possui 107 habitantes residindo em 28 casas, dispondo de rede coletora do esgoto doméstico e um sistema de tratamento preliminar/primário denominado decanto-digestor. Tal sistema possui um tanque séptico com duas câmaras, gradeamento e dois filtros anaeróbios de

fluxo descendente. O decanto-digestor foi dimensionado para tratar uma vazão até 20 m³ d⁻¹ de esgoto doméstico com remoção do lodo a cada dois anos. No período experimental de setembro a dezembro de 2010 a vazão no sistema era de 12 m³ d⁻¹, tendo em que vista que apenas 60 pessoas estavam gerando esgoto doméstico.

Ao lado do decanto-digestor foi implantada uma pequena infraestrutura em miniatura para tratamento complementar de parte do esgoto doméstico gerado no Assentamento Milagres (Figura 1).

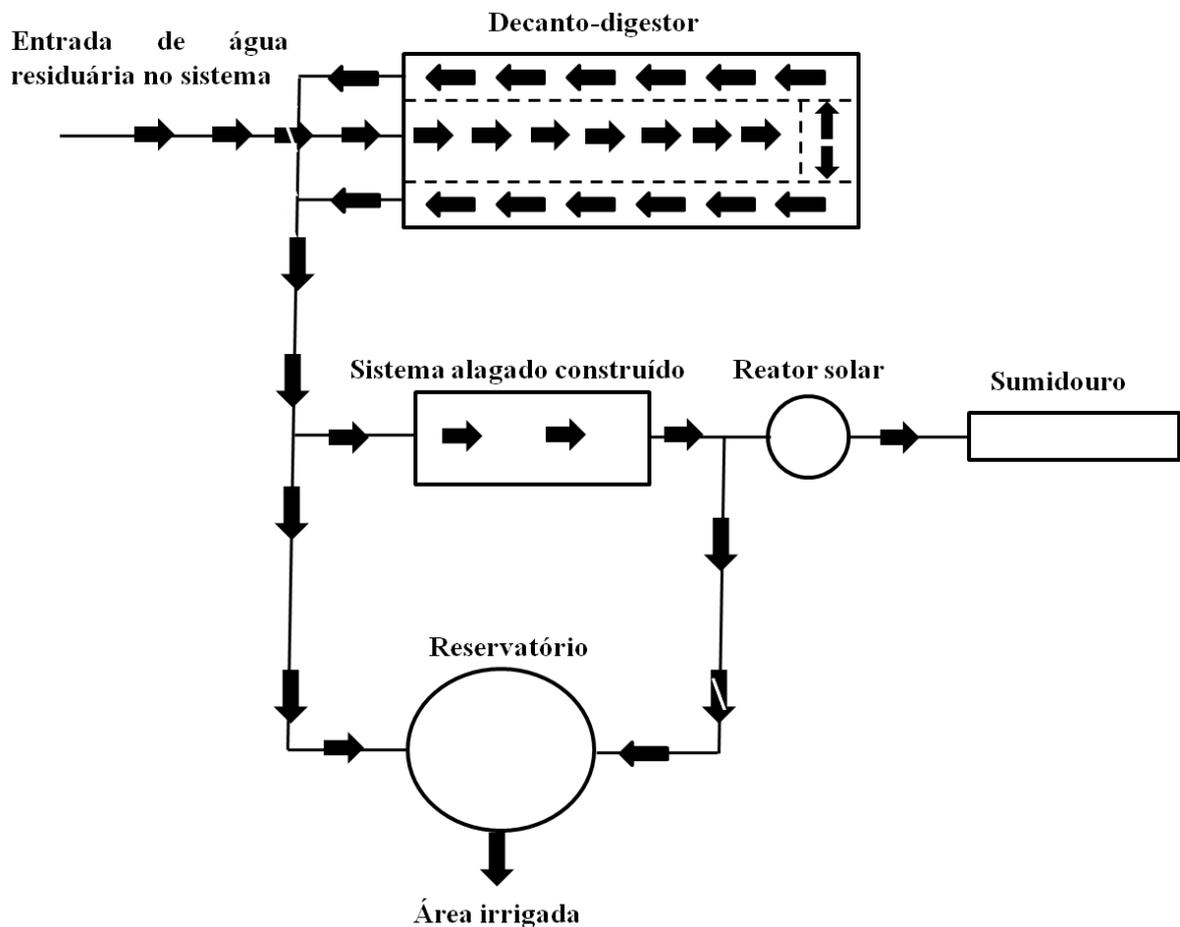


Figura 1. Ilustração do sistema de tratamento e aproveitamento esgoto doméstico implantado no Assentamento Milagres, área experimental da UFERSA, em Apodi-RN.

Decanto-digestor: Tal dispositivo consiste de um tanque séptico e dois filtros anaeróbios, construídos em alvenaria de tijolos e reboco com impermeabilizante nas dimensões de 4,0 m de largura por 8,0 m de comprimento por 1,80 m de profundidade. No entanto, a profundidade útil do sistema foi de 1,30 m, além de ser dividido da seguinte forma: a) um tanque séptico com duas

câmaras, medindo de 2,0 m de largura por 7,6 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, tempo de detenção hidráulica de 0,5 dia, frequência para remoção do lodo a cada dois anos, ocupando um volume de cerca de 21 m³; b) grade tipo fina para remoção de material particulado com tamanho de até 0,02 m nas dimensões de 1,0 m de largura por 2,0 m de comprimento, instalada a jusante do tanque



séptico; e c) dois filtros anaeróbios de fluxo descendente, cada uma nas dimensões de 1,0 m de largura por 6,0 m de comprimento por 1,30 m de profundidade útil, ocupando os dois um volume de 16,0 m³. Os filtros anaeróbios foram preenchidos, internamente, com tijolos cerâmicos de oito furos para auxiliar na formação de biofilme para degradação de poluentes químicos e orgânicos presentes no efluente. O tempo de detenção hidráulica estimado para cada filtro é aproximadamente de duas horas. Foi dimensionamento conforme as recomendações da NBR 7229.

Sistema alagado construído: composto por um leito com fluxo subsuperficial horizontal, para tratamento secundário/terciário do esgoto doméstico, construído em alvenaria nas dimensões de 2,0 m de largura por 4,0 m de comprimento por 0,70 m de profundidade, enterrado no solo. O meio suporte utilizado foi a brita 1 que possibilita a formação do biofilme para o tratamento biológico do efluente. No dia 23 de setembro de 2010 foram plantados os colmos de capim elefante (*Pennisetum purpureum*) no sistema alagado construído no espaçamento de 0,60 m entre fileiras e 0,60 m entre centro de colmos. Tal espécie vegetal foi escolhida por capacidade de extração de nutrientes do esgoto doméstico e posterior conversão em biomassa que pode, após exposição à radiação solar, servir como alimento para pequenas criações de animais no assentamento (bovinos, caprinos e ovinos).

No dimensionamento do sistema alagado construído foi considerada uma vazão de 1,0 m³ d⁻¹, taxa de aplicação de 400 kg de DBO ha⁻¹ d⁻¹ e concentração típica de DBO do esgoto doméstico de 300 mg L⁻¹ seguindo as recomendações de Matos (2007).

Reator solar: Tal dispositivo foi construído em fibra de vidro (3 mm), no formato cilíndrico, conforme as recomendações de Sanches-Roman et al. (2007) nas dimensões de 1,30 m de diâmetro e 0,40 m de profundidade, dotado de capacidade máxima armazenadora para 0,53 m³. No interior do reator foi fixada uma régua com precisão de um centímetro para o monitoramento da lâmina de efluente a ser tratado. Este dispositivo foi operado com uma lâmina de efluente de 0,10 m durante um período de exposição à radiação solar de 12 horas, de acordo com Moura et al. (2011).

Sumidouro: utilizado para infiltrar o volume de esgoto doméstico tratado no reator solar, ou seja, cerca de 0,13 m³ a cada ensaio realizado. O restante

do volume de esgoto doméstico tratado pelo sistema alagado construído era lançado em um reservatório para posterior aproveitamento na agricultura. Com um ensaio prévio de infiltração constatou-se que o coeficiente de infiltração do solo na área foi de 65 L m⁻² d⁻¹. No dimensionamento do sumidouro foram levadas em consideração as recomendações NBR 7229;

Reservatório: este dispositivo permite armazenar o efluente tratado no sistema alagado construído que não foi destinado ao sumidouro para a fertirrigação de cultivo agrícolas no Assentamento Milagres. Construído em concreto armado com capacidade armazenadora para 10 m³, tendo diâmetro de 3,5 m e profundidade de 1,0 m.

No período de 1 a 22 de dezembro de 2010, equivalente ao período de 48 a 70 dias após o plantio do capim elefante (*Pennisetum purpureum*), foram realizadas quatro amostragens de efluentes nos seguintes pontos do sistema: Ponto 1 - efluente coletado na entrada do decanto-digestor; Ponto 2 - efluente coletado na saída do decanto-digestor; Ponto 3 - efluente coletado à jusante do sistema alagado construído; e Ponto 4 - efluente coletado no reator solar.

Para caracterização físico-química dos efluentes, amostras foram coletadas nos pontos 1, 2, 3 e 4 do sistema e preservadas em caixas isotérmicas com gelo à temperatura de 4°C até a entrada no laboratório. Posteriormente, tais amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Diagnóstico Físico-Químico da Universidade Estadual do Rio Grande do Norte (UERN) onde foram realizadas análises de: pH, condutividade elétrica, turbidez, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos, nitrogênio total, fósforo total, óleos e graxas e nitrato.

Para caracterização microbiológica dos efluentes, amostras foram coletadas em frasco esterilizados nos pontos 1 e 4 do sistema às 14:00 horas. Estas amostras foram preservadas em caixa isotérmica com gelo, foram encaminhadas para o Laboratório de Inspeção de Produtos de Origem Animal, localizado na Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA) para identificação e quantificação dos níveis populacionais de coliformes totais e coliformes termotolerantes. Deve-se ressaltar que para avaliar estas características foi necessário o preparo do reator solar, um dia antes da amostragem, ou seja, às 14:00 horas do dia anterior armazenava-se uma lâmina de



efluente no reator de cerca de 0,10 m, para exposição à radiação solar local, e posterior coleta no dia seguinte.

No período de 11 a 17 de setembro de 2011, foi realizada a medição da vazão que estava passando pelo sistema alagado construído. Para tal, foi utilizado o método gravimétrico. O volume médio semanal de esgoto foi de 1,93 m³, resultando em uma vazão média de 80,51 L h⁻¹. O tempo de retenção hidráulica no sistema foi de 1,5 dias.

Nos pontos 1 e 4 foram analisados todas as variáveis, enquanto que nos pontos 2 e 3 foram analisados somente pH, condutividade elétrica, turbidez, sólidos totais e sólidos suspensos. Os dados de radiação solar, por sua vez, foram obtidos

junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de avaliação da pesquisa.

O experimento foi montado em delineamento inteiramente casualizado (DIC) com quatro repetições no tempo. Os dados foram, inicialmente, submetidos a análise de variância, utilizando-se o teste F com significância de até 5%; e b) as médias foram comparadas empregando-se o teste de Tukey com significância de até 5%.

Resultados e Discussão

A Tabela 1 contém os resultados das análises físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes coletados na mini-estação de tratamento de esgoto doméstico, no período de 1 a 22 de dezembro de 2010.

Tabela 1. Características físicas, químicas e microbiológicas dos efluentes coletados no sistema de tratamento de esgoto doméstico, ao longo do período experimental.

Ponto	pH	CE dS m ⁻¹	TB UNT	CT NMP/100 mL	CTe	DQO	DBO	ST	SS	P _{total} mg L ⁻¹	N _{total}	OG	NO ₃ ⁻
Amostragem de 1 de dezembro de 2010													
Ponto 1	6,72	2,14	578,50	2,00x10 ⁸	7,70x10 ⁶	1075,23	454,72	796	302	8,29	52,18	155,90	5,00
Ponto 2	7,05	1,36	389,20					678	90				
Ponto 3	7,05	1,27	29,10					378	30				
Ponto 4	7,09	1,11	26,30	9,40x10 ³	4,30x10 ²	310,12	176,32	356	25	5,41	39,25	0,40	3,19
Amostragem de 8 de dezembro de 2010													
Ponto 1	8,21	1,27	321,17	1,10x10 ⁷	1,10x10 ⁵	1222,45	670,90	880	221	5,33	61,79	107,10	5,26
Ponto 2	7,08	1,09	216,70					221	70				
Ponto 3	7,41	1,09	36,70					180	12				
Ponto 4	7,93	1,09	31,30	2,40x10 ⁴	2,30x10 ³	210,12	95,12	154	10	0,81	15,87	0,20	5,36
Amostragem de 15 de dezembro de 2010													
Ponto 1	7,48	1,15	438,12	3,10x10 ⁸	3,30x10 ⁶	978,43	432,90	760	256	8,90	58,90	178,40	8,79
Ponto 2	7,56	1,10	271,15					345	95				
Ponto 3	7,45	1,07	40,20					220	25				
Ponto 4	7,34	1,03	39,60	6,40x10 ³	3,20x10 ²	178,80	89,40	230	24	1,02	13,20	20,00	4,78
Amostragem de 22 de dezembro de 2010													
Ponto 1	7,78	1,45	443,12	5,20x10 ⁷	2,80x10 ⁵	1022,32	534,30	902	289	7,80	63,40	165,30	9,10
Ponto 2	7,32	1,32	265,12					358	100				
Ponto 3	7,34	1,35	42,80					245	30				
Ponto 4	7,23	1,31	41,90	5,70x10 ⁴	2,90x10 ³	150,32	70,30	230	29	1,32	9,90	1,50	3,33

NOTA: Ponto 1: efluente coletado na entrada do decanto-digestor; Ponto 2: efluente coletado na saída do decanto-digestor; Ponto 3: efluente coletado à jusante do sistema alagado construído; e Ponto 4: efluente coletado no reator solar. pH - potencial hidrogeniônico; CE - condutividade elétrica; TB - turbidez; CT - coliformes totais; CTe - coliformes termotolerantes; DQO - demanda química de oxigênio; DBO - demanda bioquímica de oxigênio; ST - sólidos totais; SS - sólidos suspensos; P_{total} - fósforo total; N_{total} - nitrogênio total; OG - óleos e graxas; e NO₃⁻ - nitrato.

Os valores de pH do esgoto doméstico tratado (ponto 4) continuaram atendendo ao padrão estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 430 para lançamento de esgotos domésticos tratados em corpos hídricos (BRASIL, 2011). No entanto, os valores de pH não apresentaram alterações que comprometessem a operação do sistema (alcalinização e acidificação). Os valores de pH no ponto 4 oscilaram de 7,09 a 7,93; valores estes superiores aos obtidos por Moura et al (2010).

A condutividade elétrica do esgoto doméstico tratado (ponto 4) oscilou de 1,03 a 1,31 dS m⁻¹, nas quatro amostragens, sendo similar aos valores

obtidos por Moura et al. (2010). Tais valores continuam sendo inferiores ao limite de 3 dS m⁻¹ apresentado na Portaria n.º 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002) para uso agrícola de efluentes tratados.

Comparando os valores de turbidez do efluente coletado nos pontos 1 e 4, nos quatro dias de amostragem, constataram-se remoções de 90 a 95%. Tais remoções foram similares as obtidas por Moura et al. (2010). No ponto 4, os valores de turbidez oscilaram de 26,3 a 41,9 UNT conforme demonstrado na Figura 2.

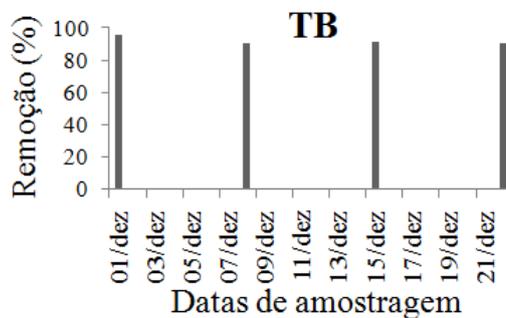


Figura 2. Remoção de turbidez (TB) proporcionada pelo sistema ecológico, no período de 1 a 22 de dezembro de 2010.

A concentração de Demanda Química de Oxigênio (DQO) do efluente no reator solar (ponto 4) oscilou de 150,32 a 310,12 mg L⁻¹, nos quatro dias de amostragem. Constatou-se, ao longo do período experimental, que a DQO atendeu ao limite de 200 mg L⁻¹ para lançamento direto de efluente tratado em corpo hídrico receptor (CEARÁ, 2002), somente nos dia 15 e 22 de dezembro de 2010. As remoções de DQO, ao longo do período experimental, foram de 71 a 85%.

Comparando os valores DBO dos efluentes coletados nos pontos 1 e 4, nos quatro dias de amostragem, verificou-se que as remoções desta característica oscilaram de 61 a 87%. Notou-se, ao longo do período experimental, que os valores da DBO foram inferiores ao limite máximo de 120 mg L⁻¹ estabelecido pela Portaria n.º 154 do Estado do Ceará para lançamento de esgotos domésticos tratados em corpos hídricos (CEARÁ, 2002) esta apresentado na Figura 3.

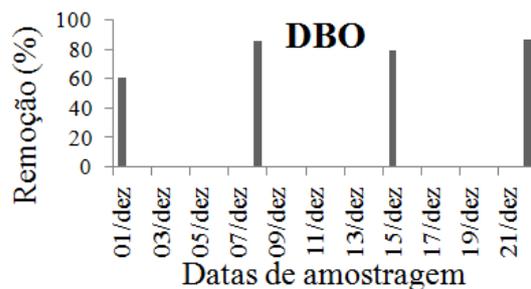
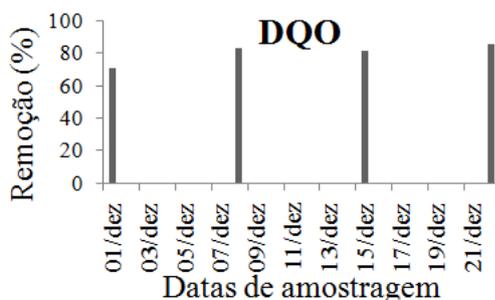


Figura 3. Remoções de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) proporcionada pelo sistema ecológico, no período de 1 a 22 de dezembro de 2010.

Verificou-se que os valores de sólidos suspensos do efluente do reator solar (ponto 4) oscilaram de 10 a 29 mg L⁻¹. Comparando os valores

de sólidos suspensos para os pontos 1 e 4 contataram-se remoções de 90 a 95%. De acordo com a Portaria n.º 154 do Estado do Ceará

(CEARÁ, 2002), os resultados de sólidos suspensos foram inferiores ao limite de 50 mg L⁻¹ estabelecido para lançamento de efluentes tratados em corpo hídrico.

As concentrações de sólidos totais variaram de 154 a 356 mg L⁻¹ para os efluentes coletados no

reator solar (ponto 4). Notaram-se, também, remoções de sólidos totais variando de 55 a 83%, ao longo do período experimental, conforme mostrado na Figura 4.

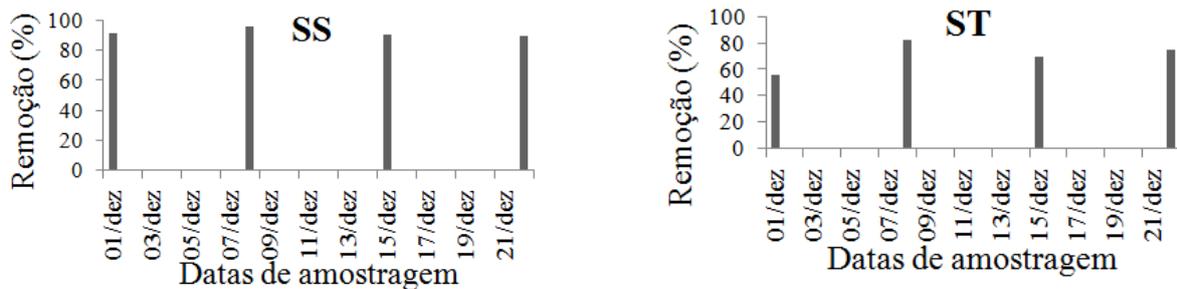


Figura 4. Remoções de sólidos suspensos (SS) e sólidos totais (ST) proporcionada pelo sistema ecológico, no período de 1 a 22 de dezembro de 2010.

As concentrações de fósforo total nos efluentes coletados no ponto 4 oscilaram de 0,81 a 5,41 mg L⁻¹. As remoções de fósforo variaram de 35 a 89%, ao longo do período experimental (Figura 5). O nitrogênio total apresentou variação nas

concentrações de 9,90 a 39,25 mg L⁻¹ no efluente do reator solar (ponto 4). Estabelecendo comparações entre os pontos 1 e 4, observou-se variação nas remoções de 25 a 84%, ao longo do período experimental.

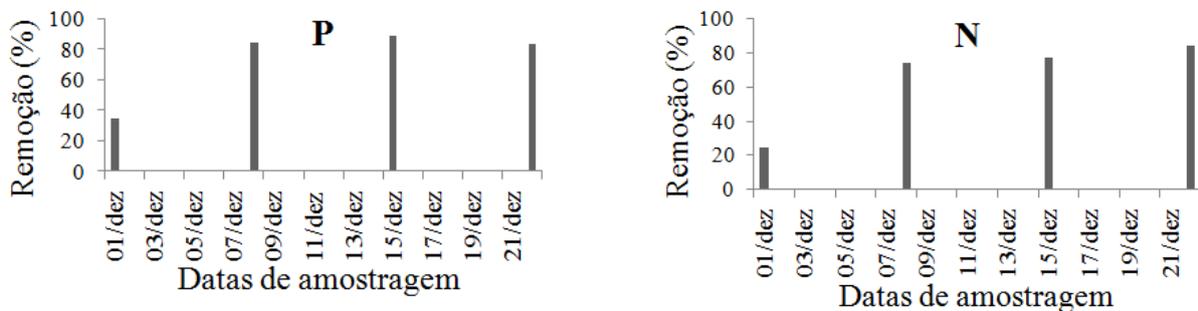


Figura 5. Remoções de fósforo total (P) e nitrogênio total (N) proporcionada pelo sistema ecológico, no período de 1 a 22 de dezembro de 2010.

Os valores de óleos e graxas do efluente do reator solar (ponto 4) apresentaram variação de 0,20 a 2,00 mg L⁻¹. Os resultados obtidos em todo período experimental foram inferiores ao limite de 100 mg L⁻¹ estabelecido pela Resolução CONAMA n.º 430 (BRASIL, 2011) para lançamento de efluentes esgotos domésticos tratados em copo

hídrico receptor. As remoções de óleos e graxas variaram de 98,9 a 99,8%, ao longo do período experimental. O efluente do reator solar (ponto 4) apresentou valores de nitrato que variaram de 3,19 a 5,36 mg L⁻¹. As remoções de nitrato oscilaram de 0 a 63%, ao longo do período experimental, apresentados na Figura 6.

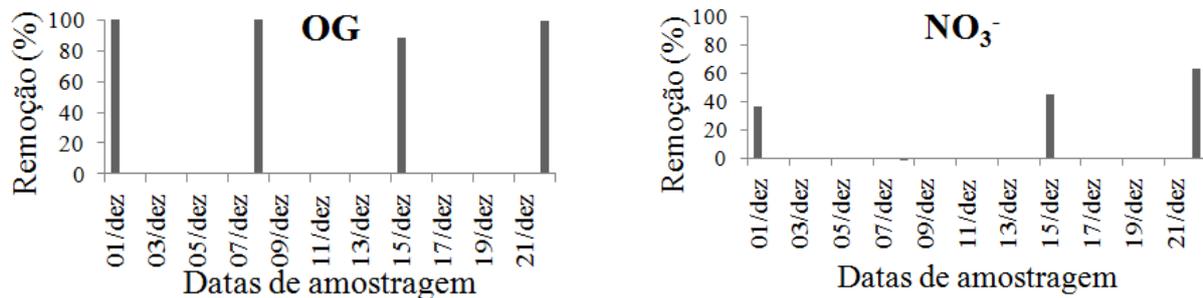


Figura 6. Remoções de óleos e graxas (OG) e nitrato (NO₃⁻) proporcionada pelo sistema ecológico, no período de 1 a 22 de dezembro de 2010.

Nas características microbiológicas houve redução no nível populacional de coliformes totais e termotolerantes quando se estabelece comparação entre os pontos 1 e 4, durante o período experimental. As remoções de coliformes totais e termotolerantes variaram de 99,78 a 99,99 e de 97,91 a 99,99%, respectivamente, com radiação solar variando de 18,55 a 29,56 MJ m⁻² d⁻¹ (Tabela

2). De acordo com os limites estabelecidos Portaria n.º 154 do Estado do Ceará (CEARÁ, 2002), o efluente atende as recomendações para reuso da água em culturas não consumidas cruas, onde o nível populacional de coliforme termotolerantes deva ser inferior a 5000 NMP 100 mL⁻¹ (Número Mais Provável por 100 mL) conforme apresentado na Figura 7.

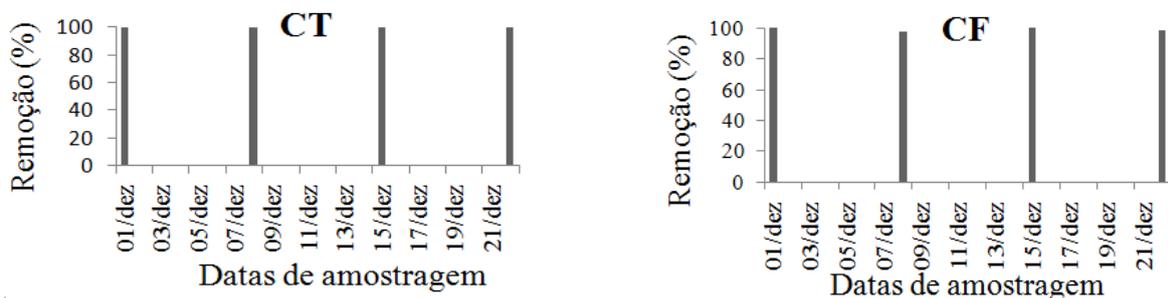


Figura 7. Reduções dos níveis populacionais de coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes (CF) proporcionada pelo sistema ecológico, no período de 1 a 22 de dezembro de 2010.

Os valores de radiação foram obtidos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período experimental, conforme apresentado na Tabela 2. A radiação solar oscilou de 18,55 a 29,56 MJ m⁻² d⁻¹ no período experimental, tendo o valor médio de 25,16 MJ m⁻² d⁻¹. Como os valores da

turbidez na saída do reator solar oscilaram de 26,3 a 41,9 UNT e não houve efeito considerável de aquecimento do efluente, as remoções de coliformes totais e termotolerantes não sofreram interferência da oscilação da radiação solar.

Tabela 2. Valores integralizados de radiação global, ao longo do período experimental, do sistema de tratamento de esgoto doméstico.

Data	Radiação acumulada (MJ m ⁻² d ⁻¹)
30/11 a 01/12	28,73
07/12 a 08/12	29,56
14/12 a 15/12	18,55
21/12 a 22/12	23,79
Média	25,16



A Tabela 3 contém os valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físicas, químicas e microbiológicas do esgoto doméstico nas etapas de tratamento referentes aos pontos 1, 2, 3 e 4.

Pela análise de variância, constatou-se que as características pH, condutividade elétrica, coliformes totais e nitrato não foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste F. Enquanto, as características turbidez, coliformes termotolerantes, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos, fósforo, nitrogênio total e óleos e graxas

foram significativas a 5% de probabilidade pelo teste F, o que permite a utilização do teste de Tukey para comparação das médias.

Comparando os pontos 1 e 4 do sistema, verificou-se que as características turbidez, coliformes termotolerantes, Demanda Química de Oxigênio, Demanda Bioquímica de Oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos, fósforo, nitrogênio total e óleos e graxas diferem estatisticamente entre si à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 3. Valores médios e o resumo dos testes estatísticos das características físicas e químicas do esgoto doméstico nos pontos de amostragem 1, 2, 3 e 4 do sistema de tratamento de esgoto doméstico.

Característica	Amostragem				
	F	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3	Ponto 4
Ph	0,17 ^{ns}	7,55	7,40	7,31	7,25
Condutividade elétrica (dS m ⁻¹)	2,56 ^{ns}	1,50	1,22	1,20	1,14
Turbidez (UNT)	60,59*	445,23a	285,54 ^a	37,20b	34,78b
Coliformes totais (NMP 100 mL)	87,98*	7,7x10 ⁷ a			1,7x10 ⁴ b
Coliformes termotolerantes (NMP 100 mL)	35,59*	9,4x10 ⁵ a			9,8x10 ² b
Demanda Química de Oxigênio (DQO)	184,42*	1064,71a			212,34b
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO ₅)	50,04*	523,21a			107,79b
Sólidos totais (mg L ⁻¹)	121,25*	834,50a	400,50b	255,75b	242,50b
Sólidos suspensos (mg L ⁻¹)	173,48*	267,00a	88,75b	24,25c	22,00c
Fósforo (mg L ⁻¹)	16,33*	7,58 ^a			2,14b
Nitrogênio total (mg L ⁻¹)	30,78*	59,07 ^a			19,56b
Óleos e graxas (mg L ⁻¹)	93,69*	151,68a			1,03b
Nitrato (mg L ⁻¹)	5,47 ^{ns}	7,04			4,17

F significativo a 5% de probabilidade. ^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade. Médias seguidas de pelo menos uma mesma letra nas linhas não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Conclusões

Houve remoção significativa de turbidez, coliformes totais e termotolerantes, Demanda Bioquímica de Oxigênio, Demanda Química de Oxigênio, sólidos totais, sólidos suspensos, fósforo total, nitrogênio total e óleos e graxas com o uso do conjunto de decanto-digestor com filtros biológicos, sistema alagado construído e reator solar.

Os valores de óleos e graxas e Demanda Bioquímica de Oxigênio atendem as recomendações nacionais para lançamento de esgoto doméstico tratado em corpo hídrico.

A combinação de radiação solar de 25,16 MJ m⁻² d⁻¹, lâmina de 0,10 m de efluente e tempo de exposição solar de 12 horas em Apodi-RN permitiu

remoção de até 99,99% dos coliformes termotolerantes;

O efluente tratado apresenta padrão microbiológico que atende as diretrizes estaduais para fertirrigação de cultivos agrícolas não consumidos crus.

Agradecimentos

À FINEP por ter financiado o desenvolvimento da pesquisa.

Referências

BRASIL. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no



- 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Brasília, 2011. Disponível em: <http://antigo.semace.ce.gov.br/integracao/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 03 mar. 2012.
- reuse. **Transactions of the ASABE**, v.50, p.65-71, 2007.
- CEARÁ. Portaria nº154, de 22 de julho de 2002. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Disponível em: <http://www.semace.ce.gov.br/biblioteca/legislacao/conteudo_legislacao.asp?cd=95>. Acesso em: 03 mar. 2012.
- INTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico 2008**. Rio de Janeiro: MPOG, MC, 2010. 219p.
- MATOS, A.T.; FREITAS, W.S.; LO MONACO, P.A.V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura. **Ambiente & Água**, v.5, n.2, p. 119-132, 2010.
- MATOS, A.T. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa, MG: AEAGRI, 2007. 140 p. (Caderno didático n. 38).
- MINISTÉRIO DAS CICADES. **Transversal: saneamento básico integrado às comunidades rurais e populações tradicionais: guia do profissional em treinamento**. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Brasília: Ministério das Cidades, 2009. 88 p.
- MOURA, F. N. BATISTA, R.O.; SILVA, J.B.A.; FEITOSA, A.P.; COSTA, M.S. Desempenho de sistema para tratamento e aproveitamento de esgoto doméstico em áreas rurais do semiárido brasileiro. **Engenharia Ambiental**, v.8, 2011. p. 264-276.
- PROCHASKA, C.A.; ZOUBOUSLIS, A.I. Treatment performance variation at different depths within vertical subsurface-flow experimental wetlands fed with simulated domestic sewage. **Desalination**, v.237, p.367-377, 2008.
- SANCHES-RAMON, R.; SOARES, A.A.; MATOS, A.T; SEDIYAMA, G.C.; SOUZA, O.; MOUNTEER, H.A. Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural