

Determinação das variáveis operacionais de um sistema ecológico para tratar águas residuais sanitárias no semiárido

Observa-se uma crescente importância do tema reúso da água no âmbito das construções sustentáveis. Atualmente o aumento da demanda e a diminuição da oferta de água com qualidade é um dos problemas que vêm atingindo, principalmente, as grandes populações urbanas. Nesse contexto, aparece a necessidade de estímulos a práticas, programas e políticas que auxiliem na conservação da água. O reúso da água constitui-se em uma atividade estratégica, além de ser uma importante ferramenta na gestão integrada dos recursos hídricos. Diante o exposto, quanto ao reúso da água, existe a possibilidade de utilização das águas residuárias sanitárias para fins de irrigação. O presente trabalho teve por objetivo geral o desenvolvimento do projeto de um sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária no campus leste da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), em Mossoró/RN, para mitigar possíveis impactos ambientais causados. Para isso, realizou-se o dimensionamento de um sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária, dotado do levantamento de informações necessárias à elaboração do projeto executivo, onde foi possível estimar que nesta instalação aproximadamente 61 pessoas geram cerca de 3,05 m³ d-1 de água residuária sanitária tratada; e também dimensionar os sistemas de tratamento; constituído de um tanque séptico com duas câmaras, um sistema alagado construído tendo como planta extratora o capim elefante e um reator solar; como também elaborar os memoriais de cálculo e descritivo e a montagem do projeto executivo dos sistemas.

Palavras-chave: Escassez hídrica; Efluentes; Mitigação; Reúso; Legislação ambiental.

Determining operational parameters of an ecological system for treating mixed domestic-industrial wastewater in potiguar semiarid region

There is a growing importance about the reuse of water in the context of sustainable construction. Currently, the increasing demand and the reduction in the supply of quality water is one of the problems that have been affecting mainly large urban populations. In this context, the need for stimuli to practices, programs and policies that help in water conservation appears. The reuse of water is a strategic activity, as well as being an important tool in the integrated management of water resources. In view of the above, regarding the reuse of water, there is the possibility of using sanitary wastewater for irrigation purposes. The objective of this study was to develop an ecological system for the treatment and agricultural use of wastewater in the eastern campus of the Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), in Mossoró/RN, to mitigate possible environmental impacts caused. In order to achieve this, the design of an ecological system for the treatment and agricultural use of sanitary wastewater was carried out, with the necessary information to prepare the executive project, where it was possible to estimate that in this facility approximately 61 people generate about 3.05 m³ d-1 of treated wastewater; and also dimension the treatment systems; consisting of a septic tank with two chambers, a flooded system constructed with elephantgrass and a solar reactor; as well as to elaborate the memorials of calculation and the assembly of the executive project of the systems.


Keywords: Water shortage; Effluents; Mitigation; Reuse; Environmental legislation.

Topic: **Desenvolvimento, Sustentabilidade e Meio Ambiente**


Received: **28/08/2021**


Approved: **29/09/2021**


Reviewed anonymously in the process of blind peer.


Ana Beatriz Alves de Araújo 
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3258937728496364>
<http://orcid.org/0000-0003-0477-0021>
beatrizufersa@gmail.com


Rafael Oliveira Batista 
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
<http://orcid.org/0000-0002-3083-6808>
rafabatista@ufersa.edu.br

Ana Katarina Oliveira Aragão 
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9362078286503928>
<http://orcid.org/0000-0001-7567-8551>
katne@gmail.com

Adler Lincoln Severiano da Silva 
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3099523205897404>
<http://orcid.org/0000-0002-8586-6414>
adler.linco@ufersa.edu.br

Pedro Henrique da Silva Oliveira 
Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Brasil
<http://orcid.org/0000-0001-8934-8983>
pedro_henriq@hotmail.com

Daniela da Costa Leite Coelho 
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2826359344539740>
<http://orcid.org/0000-0001-9182-3675>
danielaclei@yahoo.com.br

Hudson Salatiel Marques Vale 
Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/6584483689594562>
<http://orcid.org/0000-0002-5391-117X>
enhudsonsalatiel@gmail.com



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0049

Referencing this:

ARAÚJO, A. B. A.; BATISTA, R. O.; ARAGÃO, A. K. O.; SILVA, A. L. S.; OLIVEIRA, P. H. S.; COELHO, D. C. L.; VALE, H. S. M.. Determinação das variáveis operacionais de um sistema ecológico para tratar águas residuais sanitárias no semiárido. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.9, p.633-645, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.009.0049>

INTRODUÇÃO

Os recursos hídricos são empregados em todo o mundo com diversas finalidades, entre as quais se sobressaem o fornecimento de água, a geração de energia, a irrigação, a navegação e a aquicultura. A água é um elemento essencial a todos os organismos vivos. No entanto, nas últimas décadas, esse valioso recurso vem sendo ameaçado pelas ações impróprias do homem, o que acaba resultando em prejuízo para a própria humanidade.

Nesse contexto, observa-se uma crescente importância do tema reúso da água no contexto das construções sustentáveis. A busca por soluções tecnológicas que visam um melhor aproveitamento dos recursos naturais, maior conforto e economia nas construções, não para de aumentar, objetivando sempre atingir o mínimo impacto e a máxima integração com o ambiente. Em especial, a preocupação com o aumento da demanda por água tratada, tem feito com que o reúso da água ganhe a cada dia maior destaque no cenário mundial.

O aproveitamento de águas residuárias domésticas constitui-se em um elemento estratégico e é uma importante ferramenta na gestão integrada dos recursos hídricos, uma vez que permite uma redução na demanda por água de boa qualidade, elevando o volume de oferta e suprimindo com eficiência as demandas do setor já que além do potencial hídrico, também oferece o aporte nutricional; diminuindo também o lançamento de efluentes em corpos receptores (ALVES et al., 2019; REBOUÇAS et al., 2016).

Sendo assim, apesar dos benefícios gerados, o reúso de água deve ser realizado de maneira a garantir o estabelecimento dos padrões de qualidade da água de acordo com a legislação vigente, principalmente, no que diz respeito ao seu aspecto microbiológico, para cada tipo de cultura, visto que é um dos principais entraves na aceitação por parte da população de produtos que foram produzidos utilizando águas residuárias tratadas.

Diante do exposto, quanto ao reúso de águas, existe a possibilidade de utilização das águas residuárias sanitárias tratadas. Dentro dessa perspectiva, enquadra-se esse trabalho, que apresentará o dimensionamento de sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária no campus da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), localizada em Mossoró, no estado do Rio Grande do Norte (RN).

DISCUSSÃO TEÓRICA

O reúso de águas residuárias domésticas é uma importante ferramenta de gestão dos recursos hídricos, uma vez que permite uma redução na demanda por água de boa qualidade e diminui o lançamento de efluentes em corpos receptores. Além disso, as águas residuárias são fontes potenciais de água e nutrientes para as culturas agrícolas e florestais. Entretanto, as águas residuárias domésticas possuem microrganismos patogênicos que devem ser inativados antes da sua disposição final no solo (QUELUZ et al., 2015).

Os efluentes de qualquer fonte poluidora, de acordo com o Artigo 3º da Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) Nº 430/2011, “somente poderão ser lançados diretamente nos

corpos receptores após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências dispostos nesta Resolução e em outras normas aplicáveis” (BRASIL, 2011), como Resolução nº 02/2017 do COEMA, por exemplo. Essa incumbência, juntamente com a necessidade de se tratar os resíduos líquidos gerados, levou a indispensabilidade da utilização de sistemas de tratamento para que, por meio a processos físicos, químicos e biológicos, se possa reduzir a poluição ambiental, a mortandade da biota e os custos com a utilização de águas de boa qualidade, bem como, melhorar a saúde pública.

Na Resolução COEMA nº 02/2017, efluentes sanitários é a denominação genérica para despejos líquidos residenciais, comerciais, águas de infiltração na rede coletora, os quais podem conter parcela de efluentes industriais e efluentes não domésticos; enquanto água de reuso é o efluente que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas (CEARÁ, 2017).

Para o tratamento de águas residuárias sanitária existem diversas tecnologias, entretanto o tanque séptico, o sistema alagado construído e o reator solar, se destacam para uso em regiões semiáridas em função do moderado custo implantação e baixo custo de manutenção, além ainda da eficiência na remoção de contaminantes que inviabilizem o uso do efluente para fins agrícola e florestal.

Segundo a Norma Brasileira (NBR) 7.229 (ABNT, 1993), o tanque séptico de câmara em série é uma unidade com dois ou mais compartimentos contínuos, dispostos sequencialmente no sentido do fluxo do líquido e interligados adequadamente, nos quais devem ocorrer, conjunta e decrescentemente, processos de flotação, sedimentação e digestão. De acordo com Feitosa (2016), os tanques sépticos começaram a ser difundidos no Brasil na década de 30. Dentre as técnicas de tratamento de esgoto, o tanque séptico se destaca mundialmente devido ao baixo custo de implementação e a facilidade de construção e operação (COLARES et al., 2018).

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da NBR 7.229, orienta a construção e operação do tanque séptico, porém devido à falta de análise dos projetos, do acompanhamento da execução e da operação deles, as condições operacionais normalmente não são eficientes. Os tanques sépticos possuem dois formatos: cilíndricos ou prismáticos retangulares. Os cilíndricos são utilizados em circunstâncias onde se deseja minimizar a área útil em favor da profundidade; já os prismáticos retangulares, nas situações em que se pretendam maiores área horizontais e menor profundidade (ABNT, 1993).

Feitosa (2016) ressalta que o tanque séptico é recomendado para utilização geralmente em áreas que não possuem rede pública coletora de esgoto, como alternativa de tratamento de esgotos em áreas providas de rede coletora local; para retenção prévia de sólidos sedimentáveis; quando a utilização da rede coletora com diâmetro e/ou declividade reduzida para o transporte de efluentes livres de sólidos sedimentáveis. E mesmo com vantagens significantes em sua utilização, a eficácia do tanque séptico para remoção de matéria orgânica é moderada, necessitando de um pós-tratamento para obter um nível recomendado de remoção da matéria orgânica.

Os sistemas alagados construídos (SACs) são dispositivos que utilizam o princípio do solo úmido cultivado, onde o complexo solo-microrganismos-rizosfera da planta é responsável pela despoluição das

águas residuárias. Porém, o tratamento com sistemas alagados construídos é mais indicado para pequenas comunidades, inclusive as comunidades rurais. Nesse tipo de sistema é possível obter tratamento terciário em uma única unidade, com custos bastante reduzidos, e utilizar plantas produtoras de grãos, agregando benefícios econômicos, financeiros e ambientais (SILVA et al., 2015).

Segundo Ramon et al. (2017), o sistema alagado construído se baseia em processos bióticos e abióticos. Os processos bióticos contemplam a ação de microrganismos, que crescem aderidos à fração sólida do substrato ou na raiz e no colo das plantas, de mineralizar o material orgânico presente na água residuária, transformar formas químicas (ex. nitrificação-desnitrificação) e das plantas em absorver nutrientes colocados em solução no meio. Os processos abióticos incluem a precipitação química, sedimentação e adsorção de íons no substrato.

Existem dois critérios que são mais relevantes quanto à classificação dos sistemas alagados construídos, que são: o regime do fluxo da água (superficial ou subsuperficial) e o tipo de crescimento da macrófita utilizada. Os SACs possuem sistemas híbridos ou combinados, e esses diferentes tipos podem ser combinados uns com os outros a fim de explorar as vantagens específicas dos diferentes sistemas. A complexidade da instalação pode melhorar a qualidade do efluente final (AVELINO, 2016).

O reator solar é um tanque impermeabilizado desenvolvido por Román et al. (2007), onde as águas residuárias domésticas ficam expostas à incidência de radiação solar para inativação de microrganismos patogênicos. Segundo Queluz et al. (2014), a radiação solar, que tem um componente importante de radiação ultravioleta (UV), essa afeta as cadeias do ácido desoxirribonucleico (DNA) dos microrganismos, causando a perda da sua atividade biológica seguida da morte celular, pela incapacidade de se reproduzir.

Os 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 à 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, em 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 (RAMON et al., 2017).

A utilização de energia solar como proposta de desinfecção de águas residuária no semiárido brasileiro torna-se promissora uma vez que se encontra entre as latitudes 15º norte e 35º sul e recebe alto índice de radiação ultravioleta por ano, além das mais de três mil horas anuais de sol, ao mesmo tempo em que o efeito sinérgico (ação conjunta das radiações ultravioleta e infravermelha) dessas duas faixas de radiação eleva a eficiência da técnica de desinfecção solar de águas residuárias (LUZI, 2016).

Diante do exposto, entende-se que para o tratamento de água residuária sanitária existem diversos tipos de tecnologias, entretanto, o semiárido brasileiro demanda àquelas que sejam eficientes, de baixo custo de instalação e manutenção e que não utilizem produtos químicos na remoção dos poluentes, conforme destacado nos trabalhos de Feitosa et al. (2011), Moura et al. (2011), Reinaldo et al. (2012), Batista et al. (2013) e Cavalcante (2018), que desenvolveram e monitoraram estações de tratamento e uso

agrícola de água residuárias domésticas, no semiárido brasileiro com essas características.

Assim, se faz necessário o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento de águas residuárias visando o aproveitamento agrícola e florestal, a fim de possibilitar a convivência com a escassez hídrica, a conservação dos recursos hídricos e, minimização dos impactos ambientais gerados pelo esgotamento sanitário inadequado, desde que seja atendida a legislação vigente para reúso da água.

Local de instalação do projeto

O projeto do sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária foi implantado ao lado do Laboratório de Construções Rurais e Ambiente da UFERSA em Mossoró/RN, localizado entre as coordenadas geográficas 5°12'12,90" S, 37°19'26,97" O, possuindo 20 m de altitude. Na Figura 1, está representada a imagem de satélite da área onde está instalada a estação ecológica de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária.



Figura 1: Imagem da área experimental onde foi construída a estação ecológica de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária na UFERSA, Mossoró/RN. **Fonte:** Google (2021).

De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima de Mossoró é do grupo BSw h' , isto é, tropical semiárido muito quente e com estação chuvosa ocorrendo no verão-outono, apresentando temperatura média de 27,4 °C, precipitação pluviométrica anual muito irregular, com média de 673,9 mm, e umidade relativa do ar de 68,9 % (ALVARES et al., 2013). Segundo Cavalcante (2018), no ano de 2015 a velocidade média dos ventos em Mossoró foi de 4,14 m s $^{-1}$. E o solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 1999).

Essa área experimental da UFERSA foi selecionada por possuir espaço físico suficiente para a instalação do sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária. O Laboratório de Construções Rurais e Ambiente possui uma rede coletora de toda água residuária gerada no prédio, bem como um tanque de equalização para a homogeneização das águas residuárias oriundas dos vasos sanitários e dos lavatórios de mãos dos banheiros masculino e feminino; das pias do Laboratório de Dinâmica de Interação Solo-Máquina, da Sala de Aula do prédio e do Laboratório de Ensaios de Materiais; e de um destilador de água instalado no Laboratório de Dinâmica de Interação Solo-Máquina. Estima-se que no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente circulem em média 61 ocupantes temporários por dia, entre professores, alunos, servidores e terceirizados da UFERSA.

Descrição dos parâmetros de projeto

O sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária, foi constituído por um tanque séptico, um sistema alagado construído, um reator solar, um reservatório e uma vala de infiltração. Tal sistema foi dimensionado para atender uma vazão máxima de 3,05 m³ d⁻¹, gerada por 61 pessoas em condições de ocupação temporária em escola, seguindo as recomendações técnicas da NBR 7.229 (ABNT, 1993) e da NBR 13.969 (ABNT, 1997).

Memorial de Cálculo do Projeto

Tanque Séptico

Conforme a NBR 7.229, o tanque séptico pode ser uma unidade cilíndrica ou prismática retangular de fluxo horizontal, para tratamento de esgotos por processos de sedimentação, flotação e digestão, que irá coletar e tratar o lodo e a gordura da água residuária sanitária (ABNT, 1993). As dimensões do tanque séptico foram determinadas com base na NBR 7.229, utilizando-se a Equação 1.

$$V_u = \frac{1000 + N \cdot (C \cdot T + K \cdot Lf)}{1000} \quad (1)$$

Em que:

- V_u - Volume útil do tanque séptico, m³;
- 1000 - Fator de segurança, L;
- N - Número de contribuições, ocupantes;
- C - Contribuição de despejo, L hab⁻¹ d⁻¹;
- T - Tempo de detenção hidráulica, d;
- K - Taxa de acúmulo de lodo digerido, adimensional; e,
- Lf - Contribuição de lodo fresco, L hab⁻¹ d⁻¹.

Em seguida calculou-se o comprimento do tanque séptico empregando-se a Equação 2.

$$V_u = C_p \cdot L \cdot h \therefore C_p = \frac{V_u}{L \cdot h} \quad (2)$$

Em que:

- V_u - Volume útil do tanque séptico, m³;
- C_p - Comprimento interno do tanque séptico, m;
- L - Largura interna do tanque séptico, m; e,
- h - Profundidade útil do tanque séptico, m.

Sistema Alagado Construído

O sistema alagado construído foi dimensionado para operar com metade da vazão máxima (1,53 m³ d⁻¹); uma taxa de carga orgânica de 570 kg ha⁻¹ d⁻¹ recomendada por Matos et al. (2015). Para sistemas alagados construídos cultivados por gramíneas, devido a maior remoção de sólidos; tem-se uma concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) de 225 mg L⁻¹.

No cálculo da área superficial do sistema alagado construído empregou-se a Equação 3,

apresentada por Matos (2010). Deve-se ressaltar que a outra metade da vazão máxima, não tratada pelo sistema alagado construído, será lançada em vala de infiltração.

$$As = \frac{Q \cdot C}{Ta} \cdot 10 \quad (3)$$

Em que:

As - Área superficial do sistema alagado construído, em m²;

Q - Vazão máxima do afluente, em m³ d⁻¹;

Ta - Taxa de carga orgânica para condições semiáridas, kg ha⁻¹ d⁻¹; e,

C - Concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio do afluente, mg L⁻¹.

Reator Solar

O reator solar foi dimensionado no formato de tronco de pirâmide e dimensões idênticas e a forma estrutural do reator foi adotada para garantir que as paredes não permitissem a formação de sombras conforme as especificações técnicas de Queluz et al. (2014).

Vala de Infiltração

O sistema de vala de filtração foi construído no próprio solo, onde pode ter suas paredes impermeáveis. Para o seu dimensionamento foi considerado uso da Equação 4 da NBR 13.969 (ABNT, 1997).

$$As = \frac{N \cdot C}{Ci} \quad (4)$$

Em que:

As - Área superficial do sumidouro, m²;

N - Número de unidades de contribuição, habitante;

C - Contribuição de despejos, L hab⁻¹ d⁻¹; e,

Ci - Coeficiente de infiltração, L m⁻² d⁻¹.

Reservatório

O reservatório foi dimensionado na forma quadrada nas dimensões de 1,0 m de lado por 1,0 m de profundidade, para armazenar o efluente tratado pelo sistema alagado construído.

Memorial Descritivo

O sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária, foi instalado em local apropriado, isento de riscos de inundações e distantes de qualquer tipo de corpo hídrico. O terreno escolhido foi desentulhado e nivelado conforme as necessidades do projeto. As estruturas utilizadas no sistema ecológico de tratamento e uso agrícola de água residuária sanitária foram construídas em locais onde a topografia possibilita o escoamento dos efluentes nas tubulações pela ação da gravidade.

Tanque Séptico

Primeiramente calculou-se o volume útil do tanque séptico, através da utilização do fator de segurança igual a 1000 L, o número de contribuições de 61 pessoas, a contribuição de despejo igual a 50 L hab⁻¹ d⁻¹, o tempo de detenção hidráulica de 0,83 d, com a taxa de acúmulo de lodo digerido de 97 e a contribuição de lodo fresco, 0,2 L hab⁻¹ d⁻¹, totalizando um volume útil do tanque séptico de 4,73 m³, que pode ser visto na resolução da Equação 1.

$$V_u = \frac{1000 + N \cdot (C \cdot T + K \cdot Lf)}{1000} \therefore V_u = \frac{1000 + 61 \cdot (50 \cdot 0,83 + 97 \cdot 0,2)}{1000} \therefore V_u = 4,73 m^3 \quad (1)$$

Este possui duas câmaras em série e uma divisória, posicionada a 2/3 do comprimento do tanque, possuindo três aberturas na metade de sua profundidade. Cada uma dessas aberturas tem 0,10 m de largura e 0,20 m de altura. Cada câmara possui na superfície do tanque uma abertura externa para inspeção e coleta de amostras dos efluentes.

O tanque séptico foi construído com as dimensões internas de 2,60 m de comprimento, 1,30 m de largura e 1,40 m de profundidade, no formato retangular, utilizando alvenaria de tijolos, laje pré-moldada e revestimento com reboco impermeável, empregando-se sika rebocol e argamassa de cimento e areia 1:4, com 0,015 m de espessura.

Com uma profundidade de 1,40 m (para o volume útil do tanque séptico de 4,73 m³) e largura interna de 1,30 m, calculou-se o comprimento do tanque séptico empregando-se a Equação 2. Na Figura 2 tem-se a vista superior do tanque séptico.

$$V_u = C_p \cdot L \cdot h \therefore C_p = \frac{V_u}{L \cdot h} \therefore$$

$$C_p = \frac{4,73}{1,30 \cdot 1,40} \therefore C_p = 2,6 m \quad (2)$$



Figura 2: Vista superior do tanque séptico.

Sistema Alagado Construído

Como o sistema alagado construído foi dimensionado para operar com metade da vazão máxima, com a valor de $1,53 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$, e a taxa de carga orgânica para condições semiáridas de $570 \text{ kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}$ com a concentração da Demanda Bioquímica de Oxigênio do efluente de 225 mg L^{-1} , obteve a área superficial do sistema alagado construído de $6,0 \text{ m}^2$, como pode ser visto na resolução da Equação 3.

$$A_s = \frac{Q \cdot C}{T_a} \cdot 10 \therefore A_s = \frac{1,53 \cdot 225}{570} \cdot 10 \therefore A_s = 6,0 \text{ m}^2 \quad (3)$$

O sistema alagado construído foi composto por um leito com fluxo subsuperficial horizontal situado abaixo da superfície do solo, para exercer o tratamento secundário e terciário da água residuária sanitária. Além disso, foi construído em alvenaria nas dimensões internas de 1,50 m de largura, por 4,0 m de comprimento, por 0,50 m de profundidade e declividade de 0,5 % no piso.

O meio suporte utilizado foi brita gnaiss n° 1, como pode ser visto na Figura 3a, que possibilitará a formação de biofilme para o tratamento biológico da água residuária. A espécie vegetal cultivada no sistema alagado construído foi o Capim Elefante, (*Pennisetum purpureum*) por ser uma cultivar resistente a condição semiárida. (Figura 3b) plantado no espaçamento de 0,60 m entre fileiras e 0,60 m entre centro de colmos, seguindo as recomendações de Reinaldo et al. (2012) e Batista et al. (2013). Na Figura 4 tem-se a vista superior sistema alagado construído.



Figura 3: Brita gnaiss n° 1 (a) e espécie vegetal Capim Elefante (*Pennisetum purpureum*) (b).

Fonte: (a) Construfoma (b) EMBRAPA (2018).



Figura 4. Vista superior sistema alagado construído.

Reator Solar

O reator solar foi construído em formato de tronco cônico invertido e dimensões idênticas, isto é raio maior, raio menor de, respectivamente, 1,0 m, 0,25 m e 0,30 m de profundidade, pintado na cor preta para maior absorção térmica, conforme as recomendações de Queluz et al. (2014), A forma estrutural do reator foi adotada para garantir que as paredes não permitissem a formação de sombras no efluente durante o maior tempo possível, resultando em inclinação $21,8^\circ$ e possuindo diâmetro de 2,4 m; possibilitando a redução do nível populacional de bactérias e ovos de vermes. Na Figura 5, tem-se a vista superior do reator solar.



Figura 5: Vista superior reator solar.

Vala de Infiltração

Na vala de infiltração ocorrerá a disposição final da metade da vazão máxima ($1,53 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$) não tratada pelo sistema alagado construído. Para o seu dimensionamento foi considerado o uso da Equação 4 da NBR 13.969 (ABNT, 1997).

Com o número de unidades de contribuição de 61 pessoas, uma contribuição de despejos de $25 \text{ L hab}^{-1} \text{ d}^{-1}$ e o coeficiente de infiltração de $130 \text{ L m}^{-2} \text{ d}^{-1}$, este dispositivo foi construído com área superficial de $12,0 \text{ m}^2$, como pode ser visto na resolução da Equação 4. Possuindo também possuindo $8,0 \text{ m}$ de comprimento, $1,50 \text{ m}$ de largura e $0,50 \text{ m}$ de profundidade, contendo internamente, uma tubulação em policloreto de polivinila (PVC) com diâmetro nominal de 100 mm , dotado de perfurações de diâmetro de $0,01 \text{ m}$. Para minimizar a obstrução destas perfurações realizou-se o envelopamento da tubulação de 100 mm com brita gnaisse nº1. Na Figura 6, tem-se a vista superior da vala de infiltração.

$$A_s = \frac{N \cdot C}{C_i} \therefore A_s = \frac{61 \cdot 25}{130} \therefore A_s = 12,0 \text{ m}^2 \quad (4)$$



Figura 6: Vista superior da vala de infiltração.

Reservatório

O reservatório foi construído em alvenaria e revestido internamente com material impermeabilizante, com a forma quadrada nas dimensões de 1,0 m de lado por 1,0 m de profundidade, para armazenar o efluente tratado pelo sistema alagado construído tanto para a coleta de amostra para análises e quanto para fins de irrigação nas áreas verdes próximas ao Laboratório de Construções Rurais e Ambiente. Na Figura 7, tem-se a vista superior do reservatório e na Figura 8 a vista da área experimental onde se encontra o sistema ecológico de tratamento de água residuária sanitária.



Figura 7: Vista superior do reservatório.



Figura 8: Vista da área experimental onde se encontra o sistema ecológico de tratamento de água residuária sanitária.

O tanque séptico, o sistema alagado construído, o reator solar, a vala de infiltração e o reservatório serão interligados por tubulações em PVC com diâmetros nominais de 40 e 100 mm.

CONCLUSÕES

Com o presente trabalho foi possível fazer o levantamento de informações realizado junto as Normas Técnicas e ao Laboratório de Construções Rurais e Ambiente da UFERSA, estimando que nesta instalação aproximadamente 61 pessoas gerem cerca de $3,05 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ de água residuária sanitária tratada. Foi possível dimensionar e construir um sistema ecológico de tratamento e uso agrícola para água residuária sanitária gerada nas instalações do Laboratório de Construções Rurais e Ambiente da UFERSA.

Foi desenvolvido um produto tecnológico para o semiárido potiguar que vem a potencializar a convivência com a escassez hídrica e minimizar a degradação ambiental, possibilitando realizar pesquisas voltadas ao reúso da água para fins agrícolas e florestais, bem como realizar estudos sobre o desempenho do tanque séptico, sistema alagado construído e reator solar na remoção de atributos físico-químicos e microbiológicos da água residuária sanitária.

REFERÊNCIAS

ALVARES, C. A.; STAPE, J. L.; SENTELHAS, P. C.; GONÇALVES, J. L. M.; SPAROVEK, G.. Koppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, v.22, n.6, p.711-728, 2013.

ALVES, W. W. A.. Área foliar do algodoeiro irrigado com água residuária adubado com nitrogênio e fósforo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, Pombal, v.4, n.1, p.41-46, 2019.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13.969**: tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7.229**: projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro: ABNT, 1993.

AVELINO, M. C.. **Construção de um sistema de alagados construídos e o comportamento dos parâmetros físico-químicos e biológicos da fase de maturação dos leitos de fluxo vertical**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade Estadual Paulista, 2016.

BATISTA, R. O.; REINALDO, G. P. B.; FREIRE SEGUNDO, J. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; SILVA, P. C. M.; SANTOS, D. B.. Sistema ecológico para tratamento de esgoto primário em assentamentos rurais do semiárido brasileiro. *Revista Agrarian*, v.6, n.22, p.438-447, 2013.

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 357/2005. Conama, 2011.

BRASIL, M. S.; MATOS, A.T.; SOARES, A. A.. Plantio e desempenho fenológico da taboa (*Thypha* sp.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.12, n.3, p.266-272, 2011.

CAVALCANTE, F. L.; BEZERRA, J. M.; BATISTA, R. O.; SILVA, K. B.; MENDES, H. C.. Análise de componentes principais aplicada à desinfecção solar de águas cinza para reúso no semiárido potiguar. *Irriga*, v.23, n.3, p.480-492, 2018.

CEARÁ. **Resolução COEMA nº 2 de 2 de fevereiro de 2017**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras, revoga as Portarias SEMACE nº 154, de 22 de julho de 2002 e nº 111, de 05 de abril de 2011, e altera a Portaria SEMACE nº 151, de 21 de fevereiro de 2017. Fortaleza: Diário Oficial, 2002.

COLARES, C. J. G.; SANDRI, D.. Eficiência do tratamento de esgoto com tanques sépticos seguidos de leitos cultivados

com diferentes meios de suporte. *Revista Ambiente & Água*, v.8, n.1, p.172-185, 2018.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Embrapa, 1999.

FEITOSA, A. P.. **Avaliação de sistema de tratamento da água cinza e reúso da água no semiárido brasileiro**. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) – Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró/RN, 2016.

FEITOSA, A. P.; LOPES, H. S. S.; BATISTA, R. O.; COSTA, M. S.; MOURA, F. N.. Avaliação de sistema para tratamento e aproveitamento de água cinza em áreas rurais do semiárido brasileiro. *Engenharia Ambiental*, v.8, n.3, p.196-206, 2011.

LUZI, S.; TOBLER, M.; SUTER, F.; MEIERHOFER, R.. **SODIS Manual**: guidance on solar water disinfection. Dübendorf: Eawag, 2016.

MATOS, A. T.; ABRAHÃO, S. S.; BORGES, A. C.; MATOS, M. P.. Influência da taxa de carga orgânica no desempenho de sistemas alagados construídos cultivados com forrageiras. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.15, p.83-92, 2015.

MATOS, A. T.. **Disposição de águas residuárias no solo**. Viçosa: Aeagri, 2010.

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, n.1, p.264-276, 2011.

QUELUZ, J. G. T.; ROMÁN, R. M. S.. Efficiency of domestic wastewater solar disinfection in reactors with different colors. *Water Utility Journal*, v.7, n.1, p.35-44, 2014.

QUELUZ, J. G. T.; NICOLETE, D. A. P.; ALVES, T. R.; ROMÁN, R. M.. Estimativa do tempo de exposição à radiação solar para desinfecção de águas residuárias domésticas. *Scientia Plena*, v.11, n.5, p.1-6, 2015.

REBOUÇAS, J. R. L.; DIAS, N. S.; GONZAGA, M. I. S.; GHEYI, H. R.; SOUSA, O. N.. Crescimento do feijão caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado. *Revista Caatinga*, Mossoró, v.23, n.1, p.97-102, 2016.

REINALDO, G. P. B.; BATISTA, R. O.; SILVA, P. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; FERREIRA NETO, M.; SANTOS, D. B.. Desempenho de sistema decanto-digestor com filtro biológico seguido por alagado construído e reator solar no tratamento de esgoto doméstico. *Revista Ambiente & Água*, v.7, n.2, p.62-74, 2012.

RAMON, R. S.; SOARES, A. A.; MATOS, A. T.; SEDIYAMA, G. C.; SOUZA, O.; MOUNTEER, H. A.. Domestic wastewater disinfection using solar radiation for agricultural reuse. **Transactions of the ASABE**, v.50, n.1, p.65-71, 2017.

SILVA, S. C.; BERNARDES, R. S.; RAMOS, M. L. G.. Remoção de matéria orgânica do esgoto em solo de wetland construído. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, n.4, p.533-542, 2015.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.