

Remoção de matéria orgânica e *Escherichia coli* por meio de tratamento anaeróbio utilizando fossa biodigestora

Removal of organic matter and *Escherichia coli* through anaerobic treatment using biodigestor fossa

Eliminación de la materia orgánica y *Escherichia coli* a través del tratamiento anaeróbico utilizando biodigestor fosa

Recebido: 23/11/2022 | Revisado: 29/11/2022 | Aceitado: 30/11/2022 | Publicado: 08/12/2022

Lazaro Ramom dos Santos Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8228-4470>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: vasmeiras@hotmail.com

Sérgio Murilo Santos de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9599-4383>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: sergiomurilosa.ufcg@gmail.com

Dânio Marne Silva de Araújo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6882-1153>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: daniomarne@gmail.com

Lázaro Avelino de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6505-1288>
Universidade Federal de Campina Grande, Brasil
E-mail: lazaroavelino@hotmail.com

Resumo

O tratamento de águas residuárias tem assumido papel importante no que se refere aos aspectos de saúde pública uma vez que grande parte das doenças que assolam os países em desenvolvimento é proveniente da água de má qualidade. Sendo assim, o presente trabalho tem como objetivo analisar o nível de matéria orgânica e bactérias *Escherichia coli* de um efluente tratado por um sistema de fossa biodigestora instalado no Sítio Bravo pertencente ao município de Boa Vista-PB. O estudo foi realizado entre os meses de agosto de 2021 a outubro de 2022. Durante esse período foram realizadas visitas para caracterizar a área, bem como foi instalado um sistema de fossa biodigestora para tratar o esgoto produzido pelo vaso sanitário de uma residência de oito pessoas. Diante do processo de fermentação o efluente foi tratado e coletado na saída da quarta caixa d'água para análises de pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e *Escherichia coli*. Sendo assim, após os cinco meses de funcionamento do sistema o efluente final apresentou pH e *Escherichia coli* dentro do recomendado pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Os resultados de DBO estavam acima do recomendado, porém não se torna um fator limitante ao seu uso agrícola uma vez que não é utilizado sistema de irrigação que possa ser prejudicado com possíveis entupimentos. Dessa forma o sistema apresenta efluente propício para irrigação de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), contribuindo para a qualidade de vida da comunidade e reduzindo os impactos ambientais, sociais e fortalecendo a economia local.

Palavras-chave: Fossa biodigestora; Reuso; Efluente.

Abstract

Wastewater treatment has taken on an important role in public health aspects since most of the diseases that plague developing countries comes from poor quality water. Thus, the present work aims to analyze the level of organic matter and bacteria *Escherichia coli* of a effluent treated by a biodigestor fossa system installed on the Bravo site belonging to the municipality of Boa Vista-PB. The study was conducted from August 2021 to October 2022. During this period visits were reailed to characterize the area, as well as a biodigestor fossa system to treat the sewage processed by the sanitary vessel of an eight people residence. Given the fermentation process the effluent was treated and collected at the exit of the fourth water tank for pH analysis, Biochemical Demand for Oxygen (BDO) and *Escherichia coli*. Thus, after the five months of operation of the system the final effluent presented pH and *Escherichia coli* within the recommended by CONAMA Resolution 357/2005. The BDO results were above the recommended, but it does not become a limiting factor to its agricultural use as it is not used irrigation system that can be prejudicked with possible clogging. Thus, the system presents effluent conducive to irrigation of forage palm (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), contributing to the community's quality of life and reducing environmental, social impacts and strengthening the local economy.

Keywords: Biodigestor fossa; Reuse; Effluent.

Resumen

El tratamiento de aguas residuales ha asumido un papel importante en los aspectos de salud pública, ya que la mayoría de las enfermedades de que los países en desarrollo de la peste provienen de agua de baja calidad. Por lo tanto, el presente trabajo tiene como objetivo analizar el nivel de materia orgánica y bacterias *Escherichia coli* de un efluente tratado por un sistema de fosa biodigestor instalado en el sitio Bravo que pertenece al municipio de Boa Vista-PB. El estudio se realizó desde agosto de 2021 hasta octubre de 2022. Durante este período, las visitas se rearon por caracterizar el área, así como un sistema de fosa biodigesto para tratar las aguas residuales procesadas por el recipiente sanitario de una residencia de ocho personas. Dado el proceso de fermentación, el efluente fue tratado y recolectado a la salida del cuarto tanque de agua para el análisis de pH, la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y *Escherichia coli*. Por lo tanto, después de los cinco meses de operación del sistema, el efluente final presentó pH y *Escherichia coli* dentro de la Resolución 357/2005 recomendada por CONAMA. Los resultados de DBO estaban por encima de lo recomendado, pero no se convierte en un factor limitante para su uso agrícola, ya que no se utiliza un sistema de riego que puede estar perjudicado con la posible obstrucción. Por lo tanto, el sistema presenta efluentes propicio para el riego de la palma (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), contribuyendo a la calidad de vida de la comunidad y reduciendo los impactos ambientales, sociales y el fortalecimiento de la economía local.

Palabras clave: Biodigesto fosa; Reutilizar; Efluente.

1. Introdução

A escassez de água nas comunidades rurais do Nordeste caracteriza-se principalmente pela irregularidade das chuvas e pela má qualidade da mesma. O Governo do Estado da Paraíba decretou, no dia 02 de outubro de 2017, por meio do Decreto nº 37.688, publicado no Diário Oficial do Estado, nº 16.468, de 3 de outubro de 2017, o estado de emergência em 196 municípios devido à ausência de precipitações que gerasse escoamento superficial suficiente para prover a recarga dos reservatórios superficiais para fins de abastecimento humano, onde 30 municípios estavam em situação de colapso, ou seja, com abastecimento de água fornecido por meio da Operação Carro Pipa, entre eles o município de Boa Vista.

A Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB), Lei nº 11.445/2007 (atualizada pela Lei nº 14.026 de 15/07/2020) garante como princípio a coleta e tratamento de esgoto a toda população independente da região ou localidade. No entanto, a maioria das comunidades rurais não possui a coleta e o tratamento de seus efluentes, ferindo o princípio da universalização previsto na referida lei. Sendo assim, essas áreas rurais necessitam de investimentos no desenvolvimento de tecnologias alternativas de baixo custo para o tratamento das águas (Sabei & Bassetti, 2013).

Existe uma disparidade no tocante ao saneamento básico entre as diversas regiões do Brasil, que está relacionada, em parte, pela organização político administrativa em relação aos investimentos, bem como devido à dimensão territorial do país (Santiago, Pugliesi, Massukado & Kotaka, 2020). De acordo com o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS, 2018), o índice de coleta de esgoto do Brasil é 53,2 %, com 74,5 % dessa parcela tratados. No entanto, a estimativa é que menos da metade do total de esgoto gerado tem algum tipo de tratamento, índice de 46,3 %.

Segundo Santos, Paulo, Cavalheri, Lima e Magalhaes Filho (2021), são gerados cerca de 330 bilhões de m³.ano⁻¹ de esgotos domésticos pelos municípios, sendo teoricamente suficientes para irrigar e fertilizar milhões de hectares de plantações. O investimento nos serviços de saneamento básico além de mitigar inúmeros problemas ambientais, garante melhor qualidade de vida a população, principalmente aquelas mais afastadas ou marginalizadas.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) o saneamento pode ser conceituado como o controle de todos os fatores do meio físico dos seres humanos que exercem ou podem exercer efeitos nocivos sobre o bem-estar físico, mental e social da população. Sendo assim, pode ser considerado um conjunto de ações sobre o ambiente que visam à salubridade ambiental na prevenção e controle de doenças, promoção de saúde e qualidade de vida (Organização Mundial da Saúde, 2018).

A irrigação com águas residuárias ainda é uma prática que gera desconfiança por boa parte da população. Porém, essa prática deve ser incentivada, pois representa uma fonte de suprimento de água principalmente no semiárido brasileiro devido aos grandes períodos de estiagem. No entanto, irrigação com águas residuárias sem tratamento ou com tratamento ineficiente

pode contaminar as culturas pelo contato direto da água com a cultura irrigada, bem como pelo contato com solo devido às bactérias sobreviverem por mais tempo no solo do que nas culturas (Andrade, 2021).

O uso de esgotos na agricultura como fertirrigação de culturas para reposição de nutrientes no solo já é uma prática comum, mas no semiárido há necessidade de um aproveitamento deste recurso para suprir a forragem animal que garanta a manutenção da pecuária em nível de propriedade rural em áreas degradadas na região do Semiárido brasileiro. A irrigação por ser um dos maiores usuários de água do Brasil, carece de projetos que possam proporcionar segurança hídrica aos produtores (Bernardino, Costa, Lima & Ferraz, 2021).

Dentre os sistemas de tratamento de esgotos que trabalham com o reuso agrícola deste efluente, encontra-se a Fossa Séptica Biodigestora – FSB, uma tecnologia social desenvolvida em 2001 pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), no município de São Carlos – SP. Segundo Farah e Gaspar (2017), essa é uma tecnologia social adequada em povoados rurais, casas e chácaras que não são atendidos por tratamento de esgoto sanitário.

Esse sistema foi inspirado nos biodigestores asiáticos, sendo destinado ao tratamento das águas de vaso sanitário (fezes e urina) de uma residência rural com até cinco pessoas (Figueredo et al., 2019). A fossa biodigestora representa um tratamento biológico do efluente através da fermentação fazendo uso do esterco bovino fresco contendo grande quantidade de bactérias. Assim, auxilia na viabilização do tratamento do esgoto doméstico e produção de efluentes desinfetados e biofertilizante (Souza, Leite & Gontijo, 2019).

O processo de biodigestão anaeróbia ocorre através de bactérias existentes no sistema gastrointestinal dos humanos e animais na ausência de oxigênio e luminosidade e ao consumir a matéria orgânica as bactérias promovem uma fermentação, gerando gases como: o metano, o dióxido de carbono e amônia (Marcelino, Piceli, Oliveira, Júnior, & Melillo, 2020).

Segundo a Embrapa, uma das maiores vantagens da Fossa Séptica Biodigestora é sua alta eficiência de remoção de patógenos, possibilitando maior segurança no reuso agrícola do efluente. Devido a sua fácil instalação, manutenção e baixo custo estima-se que cerca de 11.000 unidades já tenham sido instaladas em mais de 250 municípios brasileiros (Silva, Marmo, & Leonel, 2017).

A implementação desse sistema em ambientes rurais propicia a redução da contaminação do solo, córregos e cursos d'água, de modo que o ambiente também ganha com a melhoria da qualidade do solo e da água. Por esse motivo, essa tecnologia social além de ter baixo custo, é um instrumento de saúde pública e de melhoria da qualidade de vida no campo, podendo ser incorporado em programas de saneamento nas áreas rurais. (Marcelino et al., 2020).

O monitoramento da qualidade da água da fossa biodigestora é um dos instrumentos para avaliação do risco que o sistema representa para a saúde humana e para a preservação do solo. Além disso, através dos resultados encontrados pode-se analisar o quanto de nutrientes estará disponível para as culturas irrigadas, substituindo assim fertilizantes industriais. Esse monitoramento também será importante para avaliar o tempo médio que esse sistema precisará para sofrer manutenção. Partindo dessa premissa, o presente trabalho tem como objetivo analisar o pH, bem como o nível de matéria orgânica e bactérias *Escherichia coli* de um efluente tratado por um sistema de fossa biodigestora instalado no Sítio Bravo pertencente ao município de Boa Vista-PB.

2. Metodologia

2.1 Tipo de Pesquisa

Estudo exploratório e descritivo de corte transversal, por ser realizado em determinado período de tempo, entre julho a outubro de 2022, com abordagem do tipo quanti-qualitativa por favorecer a quantificação e discussão qualitativa dos resultados.

De acordo com Köche (2011), na pesquisa exploratória não se trabalha com a relação entre variáveis, mas com o

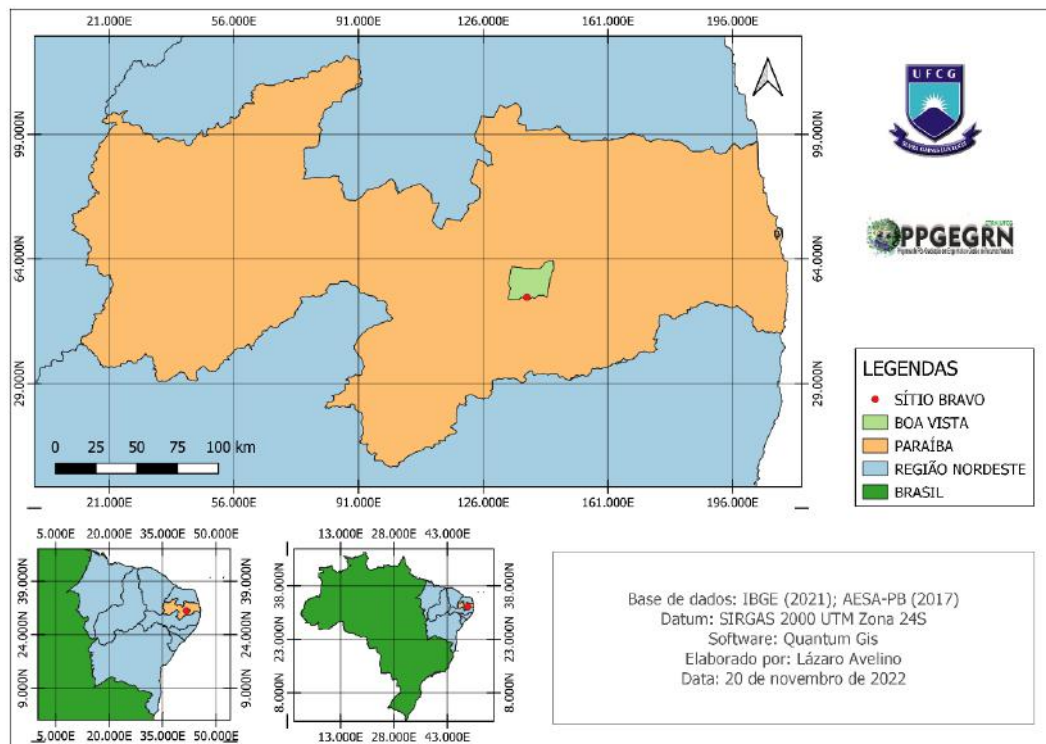
levantamento da presença das variáveis e da sua caracterização quantitativa ou qualitativa. Já a pesquisa descritiva constata e avalia as relações entre as variáveis à medida que essas variáveis se manifestam espontaneamente em fatos, situações e nas condições que já existem, não havendo, *a priori*, manipulação das variáveis, e sim a constatação de sua manifestação *a posteriori*.

O método de abordagem quanti-qualitativo tem caráter misto, ou seja, incorpora elementos de ambas as abordagens quantitativa e qualitativa. Numa perspectiva descritiva ou explanatória, os dados qualitativos são utilizados para explicar resultados quantitativos ou vice-versa (Creswell & Clark, 2007, como citado em Souza & Kerbauy, 2017).

2.2 Área de Estudo

O estudo foi realizado no Sítio Bravo, pertencente ao município de Boa Vista-PB como observado na Figura 1. Essa área foi selecionada por fazer parte dos 30 municípios em situação de colapso hídrico elencados pelo Decreto nº 37.688, publicado no Diário Oficial do Estado, nº 16.468, de 3 de outubro de 2017.

Figura 1 – Localização do Sítio Bravo no município de Boa Vista no Estado da Paraíba.



Fonte: Elaborado pelos autores a partir das bases de dados do IBGE (2021); da AESA-PB (2017)

O município localiza-se no Cariri Oriental paraibano e integra a bacia hidrográfica do Rio Paraíba, que recebe água transposta do Rio São Francisco desde o mês de março de 2017. O Sítio Lajedo do Bravo, assim como muitas áreas rurais do Brasil, não apresenta tratamento de efluente, fato esse que pode ser observado na Figura 2 (A) e (B).

Figura 2 – Lançamento de esgoto doméstico no solo, Sítio Bravo, Boa Vista-PB.



(A) Lançamento de esgoto doméstico sem tratamento em Bananeira (*Musa sapientum L.*); (B) Lançamento de esgoto doméstico sem tratamento em Palma Forrageira (*Opuntia ficus-indica (L.) Mill.*). Fonte: Fotos dos autores.

Conforme observado na Figura 2, as famílias que habitam essa área estão sob grande vulnerabilidade de contraírem doenças de veiculação hídrica devido à falta de tratamento desses esgotos que correm a céu aberto.

2.3 Etapas da Pesquisa

O desenvolvimento da pesquisa foi realizado por meio dos seguintes procedimentos:

- Diagnóstico/caracterização da área de estudo;
- Instalação do sistema de fossas biodigestoras;
- Coleta de água mensalmente para análises de pH, *Escherichia coli* e Demanda Bioquímica de Oxigênio.

Para a realização do diagnóstico e caracterização da área de estudo foi realizada uma visita ao local no mês de agosto de 2021 para dialogar com membros da comunidade sobre o projeto. Inicialmente houve boa aceitação da população diante dos benefícios que os sistemas iriam trazer.

A segunda visita foi realizada no mês de setembro de 2021 para avaliar quais locais seriam mais apropriados para instalação do sistema de fossas biodigestoras. Ao final da visita foram demarcados e medidos os locais onde o sistema seria instalado, conforme apresentado na Figura 3 (A) e (B).

Figura 3 – Demarcação do local de instalação da fossa biodigestora.



(A) Demarcação dos locais de instalação das caixas d'água do sistema biodigestor de acordo com a declividade do terreno; (B) Detalhe da medição dos locais de escavação de acordo com o raio da circunferência das caixas d'água. Fonte: Fotos dos autores.

As recomendações sobre a construção e implementação do sistema seguiram às regulamentações da Associação Brasileira de Normas Técnicas, Norma NBR 7229/93 (ABNT, 1993) que define o projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos, e Norma NBR 13969/97 (ABNT, 1997) que complementa a parte referente ao tratamento e disposição dos efluentes de tanques sépticos.

A Implantação dos sistemas de fossa biodigestora foi realizada entre os meses de janeiro a março de 2022. O sistema foi construído para atender uma família de até oito pessoas, sendo composto por quatro caixas, sendo as três primeiras usadas para fazer o tratamento anaeróbico da matéria orgânica e a última para armazenar o efluente tratado. A Figura 4 (A) e (B) ilustra o processo de construção da fossa, a Figura 5 representa a alimentação do sistema com o esterco bovino fresco na primeira caixa e a Figura 6 ilustra o sistema pronto em operação.

Figura 4 – Processo de construção da fossa biodigestora.



(A) Escavação do solo e implantação das caixas d'água; (B) Interligação do sistema com a coleta do esgotamento sanitário. Fonte: Fotos dos autores.

Figura 5 – Adição do esterco bovino no sistema.



Fonte: Fotos dos autores.

Figura 6 – Sistema de fossa biodigestora em operação.



Fonte: Fotos dos autores.

Para haver o correto funcionamento do sistema de fossa, este é alimentado quinzenalmente com dez litros de esterco bovino fresco diluído em dez litros de água na entrada da primeira caixa, como ilustra a Figura 5. A primeira vez que houve alimentação desse material no sistema foi em maio de 2022. Diante disso, foi realizada a capacitação do morador da residência onde o sistema foi instalado para que ele realizasse esse procedimento no tempo adequado.

2.4 Coleta e Análise das Águas

Foram realizadas quatro coletas na fossa biodigestora nas datas 04/07/2022, 04/08/2022, 02/09/2022 e 14/10/2022 como ilustrado na Figura 7 (A) e (B). Para as análises microbiológicas as coletas foram realizadas em frascos autoclavados estéreis e acondicionadas em caixa térmica com gelo, durante o período de transporte para o laboratório que não ultrapassou um intervalo de 5 horas. As amostras de DBO foram coletadas em garrafas pet devidamente higienizadas e preservadas no gelo.

Figura 7 – Coleta das amostras físico-químicas e microbiológicas.



(A) Amostras coletadas em garrafa pet para DBO e em frasco autoclavado para análise microbiológica; (B) Detalhe da coleta de amostra em frasco coletor autoclavado. Fonte: Fotos dos autores.

As amostras foram destinadas ao Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES), pertencente ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Campina Grande – PB, *Campus I*, ilustrado na Figura 8 (A) e (B).

Figura 8 – Análises de *E. coli* e DBO nas dependências do LABDES.



(A) Detalhe da análise microbiológica no laboratório; (B) Detalhe da análise DBO no laboratório. Fonte: Fotos dos autores.

As análises foram feitas em triplicata seguindo os procedimentos do Standard Methods (APHA, 1999), de modo que os parâmetros analisados bem como os métodos estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros e método utilizado para análise das águas coletadas na fossa biodigestora.

Parâmetros	Método
pH	Instrumental
<i>Escherichia coli</i>	Substrato definido - Colilert
DBO	Espectrofotométrico

Fonte: APHA (1999).

Com base nos resultados encontrados esses parâmetros foram comparados com os padrões exigidos pela Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (BRASIL, 2005). Esse procedimento foi de fundamental importância para analisar a produtividade na agricultura. O efluente tratado foi utilizado para irrigar plantas forrageiras, frutíferas e espécies endêmicas situadas em áreas degradadas. Para ajudar na interpretação dos resultados também foi utilizada a Resolução CONAMA 430 (BRASIL, 2011).

2.5 Análise Estatística

Foi realizada a análise de variância (ANOVA) considerando o nível de significância de 5%. Os testes foram realizados por meio do programa computacional Microsoft Excel 2011, de modo que a variância é significativa quando $p < 0,05$. Esse teste foi importante para analisar se houve variação significativa dos resultados com base nos meses de coleta. Também foi realizada a correlação linear de Pearson entre os resultados de pH, DBO e *E. coli* para verificar a influência da matéria orgânica na proliferação desses microrganismos.

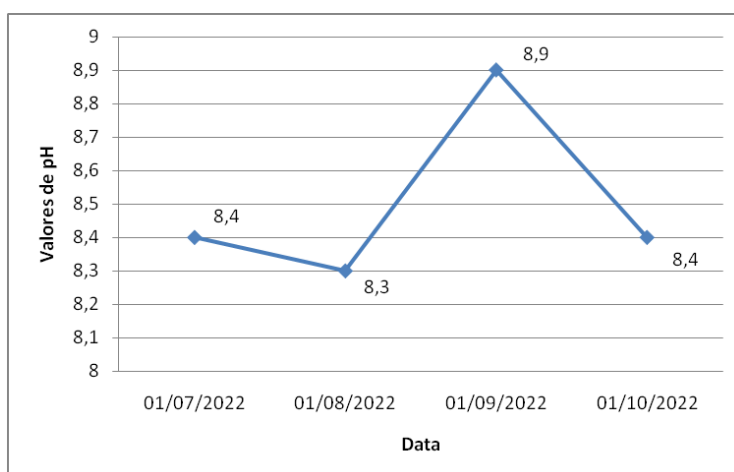
3. Resultados e Discussão

3.1 Análise de pH

O pH confere o grau de acidez ou alcalinidade de uma determinada substâncias e possui uma escala de 0 a 14, sendo que valores abaixo de 7 são mais ácidos e acima são mais básicos. Valores extremos de pH, seja ele ácido ou base, podem comprometer significativamente o desenvolvimento da biota aquática como por exemplo as bactérias que participam de processos biológicos (Andrade, 2021).

Segundo Oliveira 2018, o pH é considerado um dos parâmetros mais significativos no processo de digestão anaeróbia, sendo esse um fator limitante para o bom funcionamento deste sistema de fossa biodigestora. A Figura 9 apresenta os valores de pH nos quatro meses de coleta, de modo que o valor médio foi de 8,5. Estudo realizado por Oliveira 2018, também aponta resultados alcalinos de pH, de modo que esse comportamento do sistema FSB pode estar associado a degradação de proteínas e aminoácidos em meio anaeróbio (Silva, Faustino & Novaes, 2007). Figueiredo et al. (2019) identificaram valores médios de pH igual a 8,4 que também estão próximos aos encontrados neste estudo.

Figura 9 – Variação de pH ao longo dos meses de coleta de água.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os valores de pH apresentaram-se dentro da faixa considerada ideal segundo Ayers e Westcot (1999), não proporcionando efeitos negativos na irrigação, uma vez que águas com pH inadequado podem provocar desequilíbrios de nutrição ou conter íons tóxicos.

Esses resultados também se encontram dentro do limite estabelecido pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 357 de 2005 que estabelece valores de pH entre 6,0 a 9,0 para água de irrigação. Com base nessa classificação do CONAMA, esses efluentes estariam propícios para irrigação de diversas culturas como hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto. De acordo com a resolução CONAMA n° 430 de 2011, para lançamento de efluente, o pH deve estar compreendido entre 5,0 e 9,0. Dessa forma, esse parâmetro também apresentou valores permitidos pela legislação.

A Tabela 2 apresenta a análise de variância, de modo que houve variação significativa ($p=0,004$) nas médias de pH quando comparados os quatro meses de coleta. Essa variação se deu devido ao crescimento das bactérias matanogênicas dentro do sistema. Segundo Speece (1996), os reatores anaeróbios são operados de maneira satisfatória na faixa de pH de 6,5 a 8,2, ou seja, a tendência é o pH final do efluente ficar alcalino após o crescimento desses microrganismos.

Tabela 2 - Análise de Variância de pH.

Fonte da variação	SQ	Gl	MQ	F	Valor-P	F. crítico
Entre grupos	0,6225	3	0,2075	9,96	0,004462	4,066181
Dentro dos grupos	0,166667	8	0,020833			
Total	0,789167	11				

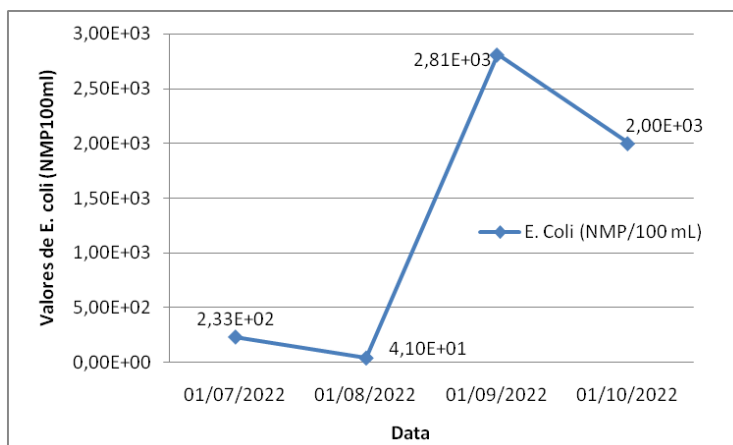
Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2 Análises Microbiológicas

A qualidade microbiana da água usada na irrigação é de suma importância visto que a proliferação de microrganismos nessas águas pode favorecer a introdução de patógenos nas culturas irrigadas, além de proporcionar riscos aos agricultores de contraírem doenças de veiculação hídrica. Segundo a Embrapa, uma das maiores vantagens da Fossa Séptica Biodigestora é sua alta eficiência de remoção de patógenos, possibilitando maior segurança no reuso agrícola do efluente (Silva, Marmo & Leonel, 2017). Sendo assim, a redução desses microrganismos possibilita maior segurança para os produtores rurais que farão uso desse efluente no plantio.

A presença de *Escherichia coli* na água é usada como indicador de contaminação fecal, por se apresentar em grande quantidade nas fezes humanas, além de ter resistência similar à maioria das bactérias patogênicas intestinais (Andrade, 2021). O esgoto bruto apresenta aproximadamente cerca de 10^6 a 10^9 NMP/100 ml de *Escherichia Coli* (Farah & Gaspar, 2017). Sendo assim, analisando a Figura 10, pode-se observar que a remoção média foi de $4,81 \times 10^2$ NMP/100 ml ao longo dos quatro meses de coleta. Esses resultados estão em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357/2005 que recomenda valor máximo de $4,00 \times 10^3$ por 100 mililitros.

Figura 10 – Variação de *E. coli* ao longo dos meses de coleta de água.



Fonte: Elaborada pelos autores.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) exige qualidade da água em $3 \log E. coli. 100 \text{ mL}^{-1}$ para irrigação irrestrita em cultivos de raízes, $4 \log E. coli. 100 \text{ mL}^{-1}$ para irrigação irrestrita em cultivos de folhas ou na irrigação restrita com agricultura de mão de obra intensiva e de alto contato, e $5 \log E. coli. 100 \text{ mL}^{-1}$ para irrigação irrestrita em sistema por gotejamento e cultivos de porte alto ou na irrigação restrita com agricultura mecanizada (WHO, 2006).

Dessa forma, a água produzida pelo sistema pode ser utilizada para irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras. Estudo realizado por Farah e Gaspar (2017) encontrou resultados similares a esse estudo, com valor máximo de *E.*

coli igual a 4×10^3 NMP / 100ml. Figueredo et al. (2019) analisado efluentes tratados com esse sistema obtiveram remoção em torno de 97% desses microrganismos.

A Tabela 3 apresenta a análise de variância, de modo que houve variação significativa ($p=4,67E-09$) nas médias de *E. coli* quando comparados os quatro meses de coleta. Esse resultado está atrelado principalmente aos resultados encontrados no segundo mês de coleta, onde o número de microrganismos chegou a $4,10 E+01$ NMP/100ml.

Tabela 3 - Análise de Variância de *E. coli*.

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>Gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	Valor- <i>P</i>	<i>F. Crítico</i>
Entre grupos	16299626	3	5433209	401,0932	4,67E-09	4,066181
Dentro dos grupos	108368	8	13546			
Total	16407994	11				

Fonte: Elaborada pelos autores.

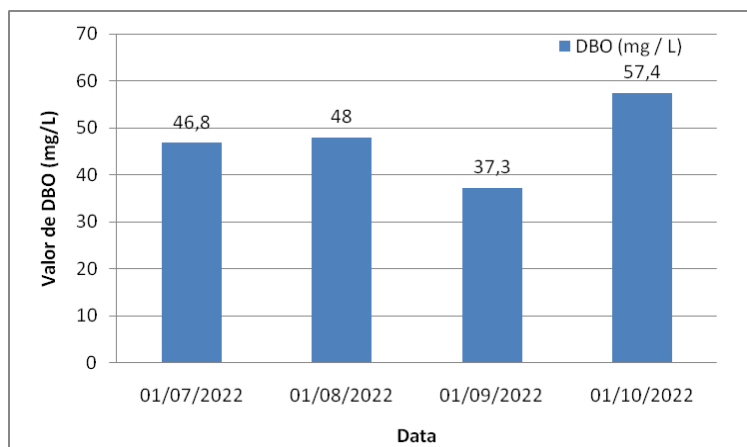
Levando em consideração que o esterco bovino foi colocado no sistema pela primeira vez em maio, esse passou dois meses fermentado o efluente até a primeira coleta de água, por esse motivo tem-se resultados mais significativos nas duas primeiras coletas e uma estabilização nos dois meses subsequentes dessa biota bacteriana. Sendo assim, os efluentes analisados apresentam baixas densidades de *Escherichia Coli*, com padrão de reuso agrícola, podendo ser reutilizados na agricultura como um adubo líquido.

3.3 Análises de DBO

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) corresponde à quantidade de oxigênio consumida por microrganismos presentes em certa amostra de efluente (Junior et al., 2018). De acordo com Von Sperling (2014), a concentração de DBO nos esgotos domésticos encontram-se em torno de 300 mg/L

De acordo com os resultados apresentados na Figura 11 o efluente gerado ao final do tratamento se encontra fora do recomendado (média igual a 47,41 mg/L) pela Resolução CONAMA nº 357/2005, uma vez que a mesma estipula valor máximo de 10 mg/L para água doce classe 3. Esse resultado é próximo ao encontrado por Soares, Calheiros, Galvani, Campolin e Silva (2016) com valor médio de 59,2 mg O₂ L⁻¹. Lofti (2016) encontrou valores de DBO entre 24,9 a 106,3 mg O₂ L⁻¹, já Figueiredo et al. (2019) encontrou valor médio bem acima, 213 mg O₂ L⁻¹.

Figura 11 – Variação de DBO ao longo dos meses de coleta de água.



Fonte: Elaborada pelos autores.

Hespanhol (2002) comenta que os valores de DBO até 100 mg/L não afetam a absorção de água pelas raízes das plantas. O autor recomenda, para melhor aceitação pelo usuário, que os valores de DBO devem ser de até 30 mg/L para irrigação de culturas consumidas cozidas e 10 mg/L para plantas consumidas cruas.

No entanto, apesar dos resultados estarem acima do recomendado vale ressaltar o baixo índice de microrganismos presentes no efluente final, bem como o valor de pH que influencia diretamente no processo de tratamento anaeróbio. Outro ponto que merece destaque é que esse efluente é usado exclusivamente para irrigar palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), não havendo qualquer influência na alimentação dos moradores locais. Após o efluente passar pelo processo de tratamento, o mesmo é lançado diretamente em uma área contendo a espécie já citada (Figura 12), sem auxílio de sistema de irrigação. Concentrações elevadas desses parâmetros podem causar o entupimento do sistema de irrigação (Porto, 2019).

Figura 12 – Lançamento do efluente tratado na área contendo plantio de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.).



Fonte: Foto dos autores.

A redução da DBO deve ser relevante principalmente quando o efluente tratado for destinado a um corpo hídrico. A Resolução CONAMA nº 430, recomenda valor máximo de lançamento de efluente 120 mg/L de DBO em corpos de água. Sendo assim, os resultados apresentados na Figura 11 possibilitam esse efluente ser lançado em um corpo hídrico sem prejuízo a biota aquática. A Tabela 4 apresenta a análise estatística de variância com os resultados de DBO.

Tabela 4 - Análise de Variância de DBO.

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>Gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	Valor- <i>P</i>	<i>F. Crítico</i>
Entre grupos	608,4049	3	202,8016	162,611	1,66E-07	4,066181
Dentro dos grupos	9,977267	8	1,247158			
Total	618,3822	11				

Fonte: Elaborada pelos autores.

De acordo com a Tabela 4, a análise de variância indicou que houve variação significativa ($p=1,66E-7$) nas médias de DBO quando comparados os quatro meses de coleta. Esse resultado está atrelado à variação na concentração de matéria orgânica que entra no sistema como, por exemplo, em setembro o sistema recebeu menos excrementos devido o número de pessoas na residência serem menores que nos demais meses.

4. Considerações Finais

Diante dos resultados apresentados o sistema produz um efluente de boa qualidade no que concerne os parâmetros analisados, estando esse propício para irrigação de palma forrageira (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.), contribuindo assim para a qualidade de vida da comunidade e reduzindo os impactos ambientais, sociais e fortalecendo a economia local.

Sendo assim, após os cinco meses de funcionamento do sistema o efluente final apresentou pH e *Escherichia coli* dentro do recomendado pela Resolução CONAMA nº 357/2005. Os resultados de DBO estavam acima do recomendado, porém não se torna um fator limitante ao seu uso agrícola uma vez que não é utilizado sistema de irrigação que possa ser prejudicado com possíveis entupimentos.

A somar-se a isto, vale ressaltar a grande contribuição da comunidade durante o processo de construção e manutenção do sistema levando os mesmos a desenvolverem senso crítico quanto aos problemas acarretados pelo lançamento inadequado desses efluentes no ambiente.

Por fim, o sistema implantado é uma alternativa de baixo custo, requer pouca manutenção, de fácil montagem, eficiente e ecologicamente viável podendo ser facilmente operado pela comunidade após a realização das atividades desenvolvidas neste trabalho.

Como sugestão para trabalhos futuros é possível que se adapte esses sistemas de fossas biodigestoras para que sua capacidade geradora de biogás também seja aproveitada. Sabe-se que o gás metano produzindo pela digestão anaeróbica é um gás combustível, que pode ser aproveitado para geração de energia térmica, elétrica e como combustível veicular.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ-PB) pela bolsa de Pós-doutorado concedida, e todos os autores agradecem pelo financiamento da pesquisa “Reuso da Água Proveniente de Esgoto Doméstico Tratado para a Produção Agrícola em Comunidades Rurais” (Edital nº 21/2020 – SEECT/FAPESQ/PB – Apoio ao financiamento da Carteira de Projetos do Centro de Desenvolvimento Regional da Paraíba – CDR-PB). Também ao Programa

de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais pertencente à Universidade Federal de Campina Grande-PB pela oportunidade.

Referências

- ABNT NBR 13969 (1997). *Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação*. Rio de Janeiro: ABNT, 60 p.
- ABNT NBR 7229 (1993). *Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos*. Rio de Janeiro: ABNT, 15 p.
- AESA-PB. (2017). *Shapefile (Municípios_PB)*. Paraíba, Brasil: AESA-PB, Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. <http://geoserver.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/shapes.html>.
- Andrade, L. R. D. S. (2021). *Sistema alternativo de tratamento de águas residuárias destinadas ao reuso agrícola*. (Tese de Doutorado) Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, Brasil. Recuperado de: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/handle/riufcg/21593>
- APHA. (1999). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. New York, USA: APHA, American Public Health Association.
- Ayers, R. S. & Westcot, D. W. (1999). *A qualidade da água na agricultura*. (2. ed.). Campina Grande: UFPB. 153 p.
- Bernardino, L. M., Costa, P. D. S., Lima, V. L. A., & Ferraz, R. L. D. S. (2021). Potencial de reuso de efluentes tratados para irrigação periurbana no município de Guarabira/PB. *Irriga*, 1(4), 671-677. doi: <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n4p671-677>
- BRASIL. (2005). *Resolução CONAMA 357, de 17 de março de 2005*. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_3_97_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 20 nov. 2022.
- Brasil. (2007). *Lei nº11.445, de 05 de janeiro de 2007*. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Saneamento Básico; altera as Leis nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Brasília, DF. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%2011.445%2C%20DE%205%20DE%20JANEIRO%20DE%202007.&text=Estabelece%20diretrizes%20nacionais%20para%20o,1978%3B%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.
- BRASIL. (2011). *Resolução CONAMA 430, de 13 de maio de 2011*. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Disponível em: <https://conexaogua.mpf.mp.br/arquivos/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-430-2011.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2022.
- Brasil. (2020). *Lei nº14.026, de 15 de julho de 2020*. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados. Brasília, DF. https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art6
- Decreto Nº 37.688, de 03 de outubro de 2017*. (2017). Decreta situação anormal caracterizada como situação de emergência as áreas dos municípios, constantes do anexo único afetadas por estiagens (COBRADE 1.4.1.1.0), e dá outras providências. Recuperado de: <https://www.maispb.com.br/wp-content/uploads/2017/10/Veja-lista-dos-munic%C3%ADpios-.pdf>
- Farah & Gaspar. (2017). Estudo do tratamento de esgoto com tanques sépticos (fossas sépticas) utilizadas em propriedades rurais no assentamento em Ibitiúva. *Revista Fafibe On-Line* 10 (1) p. 76-92. Recuperado de: <https://www.unifafibe.com.br/revistafafibeonline/?pagina=sumario&edicao=66>
- Figueiredo, I. C. S., Coasaca, R. L., Duarte, N. C., Miyazaki, C. K., Leonel, L. P., Schneider, J., & Tonetti, A. L. (2019). Fossa Séptica Biodigestora: avaliação crítica da eficiência da tecnologia, da necessidade da adição de esterco e dos potenciais riscos à saúde pública. *Revista DAE*, 67(220), 100-114. doi: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.058>
- Hespanhol, I. (2002). Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios e recarga de aquíferos. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. 7 (4). 75-95. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v7n4.p75-95>
- IBGE. (2021). *Shapifile Malhas Territoriais*. Brasil: IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>.
- Júnior, A. S. M., Bento Filho, R. C., Papadopoli, G. U., Morais, A. C., Hock, L. B. J., & Chirinos, G. J. (2018). Avaliação da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em uma lagoa facultativa. *INOVAE-Journal of Engineering, Architecture and Technology Innovation* (ISSN 2357-7797), 6, 300-319. <http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1876>
- Köche, J. C. (2011). *Fundamentos de metodologia científica*. Editora Vozes. Petrópolis, RJ. <https://btux.com.br/professorbruno/wp-content/uploads/sites/10/2018/07/K%C3%B6che-Jos%C3%A9-Carlos0D0AFundamentos-de-metodologia-cient%C3%ADfica--teoria-da0D0Aci%C3%A2ncia-e-inicia%C3%A7%C3%A3o-%C3%A0-pesquisa.pdf>

- Lotfi, P. C. S. (2016). *Avaliação preliminar da eficiência de fossas biodigestoras no tratamento de esgoto unidomiciliar–Assentamento Nova São Carlos e Santa Helena, São Carlos (SP)*. (TCC Graduação). São Carlos, SP. Universidade de São Paulo. Recuperado de: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180300/tce-31032016-164429/?&lang=br>
- Marcelino, M., Piceli, R., de Oliveira, C. R., Júnior, F. G., & Melillo, R. C. S. (2020). Desenvolvimento e construção de protótipo de fossa séptica biodigestora para uso como ferramenta de ensino sobre o tratamento de esgoto doméstico. *Revista Engenho*, 12(1), 27-45. Recuperado de: <https://revistas.anchieta.br/index.php/RevistaEngenho/article/view/1695>
- Oliveira, T. J. J. (2018). *Fossa séptica biodigestora: limitações e potencialidades da sua aplicação para o tratamento de águas fecais em comunidades rurais* (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, MG. Brasil. Recuperado de: <http://www.repositorio.ufop.br/jspui/handle/123456789/10647>
- OMS. (2018). *Guidelines on sanitation and health*. World Health Organization. Recuperado de: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/274939/9789241514705-eng.pdf>
- Porto, C. D. A. (2019). *Desempenho da membrana de ultrafiltração no pós-tratamento de efluente secundário com vistas ao reúso*. (Dissertação de mestrado) Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Brasil. Recuperado de: <https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/123456789/16912>
- Sabei, T. R., & de Jesus Bassetti, F. (2013). Alternativas ecoeficientes para tratamento de efluentes em comunidades rurais. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, 9(11). <https://doi.org/10.17271/198008279112013692>
- Santiago, C., Pugliesi, E., Massukado, L., & Kotaka, F. (2020). Contribuições da Fundação Nacional de Saúde na pesquisa em saúde e saneamento no Brasil. *Saúde e Sociedade*, 29, e181011. doi: <https://doi.org/10.1590/S0104-12902020181011>
- Santos, V. B., Paulo, P. L., Cavalheri, P. S., Lima, P. de M., & Magalhaes Filho, F. J. C. (2021). Avaliação quantitativa de risco microbiológico à saúde humana associado ao reúso de esgoto doméstico tratado por soluções baseadas na natureza. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 9(2), 105–110. <https://doi.org/10.9771/gesta.v9i2.43635>
- Silva, W. T. L., Faustino, A. S., & de Novaes, A. P. (2007). *Eficiência do processo de biodigestão em fossa séptica biodigestora inoculada com esterco de ovino*. Embrapa Instrumentação-Documentos (INFOTECA-E). Recuperado de: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/30797/1/DOC342007.pdf>
- Silva, W. T. L., Marmo, C. R., & Leonel, L. (2017). *Memorial descritivo: Montagem e operação da fossa séptica biodigestora*. Embrapa instrumentação. São Carlos, SP. Recuperado de: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1081476>
- SNIS. (2018). *24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018*. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento. Recuperado de: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/snis/diagnosticos-antiores-do-snis/agua-e-esgotos-1/2018>
- Soares, M. T. S.; Calheiros, D.F.; Galvani, F.F.; Campolin, A.I. & Silva, W.T.L. (2016). Parâmetros físico-químicos e eficiência de fossa séptica biodigestora na redução da carga orgânica de esgoto originado de água doce ou salobra, na borda oeste do pantanal. *Cadernos de Agroecologia*. 11 (2). Recuperado de: <http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/1062631>
- Souza, B. V., Leite, N. M., & Gontijo, H. M. (2019). Fossa biodigestora associada com alagados construídos para tratamento de esgoto doméstico unifamiliar. *Research, Society and Development*, 8(3), 01-12. doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i3.752>
- Souza, K. R., & Kerbauy, M. T. M. (2017). Abordagem quanti-qualitativa: superação da dicotomia quantitativa-qualitativa na pesquisa em educação. *Educação e Filosofia*, 31(61), 21–44. <https://doi.org/10.14393/REVEDFIL.issn.0102-6801.v31n61a2017-p21a44>
- Speece, R. E. (1996). *Anaerobic Biotechnology for Industrial Wastewaters*. Archae Press, Nashville.
- Von Sperling, M. (2014). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 1 (4) Belo Horizonte, Editora UFMG.
- WHO. (2006). *Guidelines for the safe use of wastewater excreta and greywater*. v. 1. World Health Organization.