

Artigo Técnico

Tratamento de água cinza para reúso agrícola no semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil

Gray water treatment for agricultural reuse in the semiarid of Rio Grande do Norte, Brazil

Raul Leite da Costa^{1*} , Dayana Melo Torres¹ ,
Josimar Torres Gomes² , José Edson Martins Silva³ 

RESUMO

O reúso de água cinza é uma medida eficaz no enfrentamento da escassez hídrica no semiárido nordestino, tendo em vista que, com sua prática, há diminuição no consumo de água potável para irrigação agrícola. Diante disso, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o tratamento de água cinza para reúso em propriedade agrícola familiar no semiárido do Rio Grande do Norte. Para a avaliação do tratamento do efluente, foram realizadas coletas dos esgotos bruto e tratado no vermifiltro da unidade agrícola familiar onde se encontra instalado o projeto piloto utilizado neste trabalho. Foram realizadas análises das propriedades físico-químicas e microbiológicas do efluente, por meio dos parâmetros: temperatura, condutividade elétrica, pH, sólidos suspensos, nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitrogênio total Kjeldahl (NTK), nitrato, fósforo total, ortofosfato solúvel, demanda bioquímica de oxigênio ao quinto dia (DBO5), demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes. Os resultados indicaram que houve remoção significativa de sólidos suspensos totais, DQO, DBO5 e coliformes termotolerantes. Tendo em vista que a redução dessas concentrações possibilita o reúso agrícola e que o sistema de tratamento biológico utilizado se mostrou eficiente na remoção desses parâmetros, é notório que o tratamento da água cinza constitui ferramenta fundamental na garantia da qualidade de vida da população, especialmente para aqueles que vivem na zona rural e sofrem com a escassez hídrica. Ademais, o sistema apresenta baixo custo de manutenção e operação, diminuição de gastos com fertilizantes, economia de água potável, redução da poluição ambiental e preservação do meio ambiente.

Palavras-chave: tratamento descentralizado; vermifiltro; saneamento rural; reúso.

ABSTRACT

The reuse of gray water is an effective measure to face the difficulty of irrigation in the northeastern semi-arid region, considering that, with its practice, there is an decrease in the consumption of drinking water for agricultural irrigation. Therefore, the present work aimed to evaluate the treatment of gray water for reuse in a family farm in the semiarid region of Rio Grande do Norte. To assess the treatment of the effluent, raw and treated sewage were collected, evaluated and treated in the vermifilter of the family farm, where the pilot project used in this work is installed. The physical-chemical and microbiological properties of the effluent were elaborated through the parameters: temperature, electrical conductivity, pH, suspended solids, ammonia nitrogen, organic nitrogen, total Kjeldahl nitrogen (NTK), nitrate, total phosphorus, soluble orthophosphate, five-day biochemical oxygen demand (BOD5), chemical oxygen demand (COD), dissolved oxygen and thermotolerant coliforms. The results indicate that there was a significant removal of Total Suspended Solids (TSS), COD, BOD5, and thermotolerant coliforms. Considering that the reduction of these concentrations allows agricultural reuse and that the biological treatment system used proved to be efficient in removing these parameters, it is clear that the treatment of gray water is a fundamental tool in guaranteeing the quality of life of the population, especially for those who live in rural areas and suffer from water scarcity. In addition, the system has low maintenance and operation costs, reduced fertilization costs, savings in potable water, reduced environmental pollution and preservation of the environment.

Keywords: decentralized treatment; vermifilter; rural sanitation; reuse.

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - Natal (RN), Brasil.

²Serviço Nacional de Aprendizagem Rural - Natal (RN), Brasil.

³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte - São Paulo do Potengi (RN), Brasil.

*Autor correspondente: raulleitedacostaect@gmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum.

Recebido: 16/08/2021 - **Aceito:** 23/05/2022 - **Reg. ABES:** 20210226

INTRODUÇÃO

A crise hídrica no semiárido nordestino já é um problema desde os tempos antigos. Em decorrência dela, o sertanejo convive de forma contínua com os efeitos frequentes e prolongados das estiagens, provocando uma série de problemas que afetam diretamente a qualidade de vida do ser humano (SARAIVA, 2018). Podem-se elencar, como alguns desses agravantes, a diminuição da oferta de água de boa qualidade para a população, a redução da oferta de alimentos e os impactos na economia local.

Essa escassez hídrica vivenciada pela população nordestina é proveniente da distribuição irregular dos recursos hídricos, que, por sua vez, decorre tanto das condições edafoclimáticas locais quanto da ineficiente gestão desses recursos, acarretando sua racionalização. Nessa distribuição, prioriza-se o consumo humano em detrimento do desenvolvimento das atividades antrópicas da região, fazendo-se, assim, necessário buscar mecanismos de enfrentamento das referidas adversidades naturais.

Nesse contexto, a utilização de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto apresenta-se como boa alternativa, visto que são sistemas capazes de coletar, tratar e implementar a disposição final ou o reúso em locais próximos a sua geração. Esse tipo de tratamento é uma solução importante para o enfrentamento das dificuldades vivenciadas com a escassez hídrica em comunidades isoladas (USEPA, 2002; MASSOUD; TARHINI; NASR, 2009), pois garante a saúde dos habitantes e mantém a integridade ambiental dessas comunidades.

Aliada a isso, destaca-se a viabilidade da adoção de técnicas de reutilização de água, considerando-se que sua aplicabilidade está cada vez mais presente no cotidiano da população, sobretudo em cenários de elevada demanda de água em decorrência de longos períodos de seca e de escassez hídrica.

As técnicas de reutilização focalizam a água cinza, designada como a água residuária produzida em chuveiros, banheiros, lavatórios, lava-louças, pias de cozinha e máquinas de lavar roupas (CAVALEIRO, 2014), a qual é responsável por 70 a 75% da produção total dos efluentes domésticos (LI, 2009) e pode ser utilizada para usos menos nobres, como a irrigação (MENDONÇA, 2019).

O reúso das águas possibilita que a oferta de água potável seja destinada para fins essenciais, como o consumo humano. Isso gera economia da água de boa qualidade e utilização da água de reúso para outros fins, como atividades agrícolas (MOURA *et al.*, 2020). A agricultura utiliza maior quantidade de água e pode tolerar águas de qualidade mais baixa do que a indústria e o uso doméstico, preservando águas de melhor qualidade para usos mais nobres, como o abastecimento humano (ANDRADE NETO, 2011).

Medidas como essa coadunam-se com a política de gestão para áreas carentes de recursos hídricos estabelecida pelo Conselho Econômico e Social das Nações Unidas (ECOSOC) (1985). O órgão determina que, “a não ser que exista grande disponibilidade, nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada para usos que toleram águas de qualidade inferior” (FIORI; FERNANDES; PIZZO, 2006; CHRISPIM; NOLASCO, 2017).

A temática relacionada ao reúso de água teve início na década de 1960, mas o assunto teve maior relevância no meio científico a partir dos anos 2000. No Brasil, as práticas de reúso foram instituídas pela Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, que estabelece modalidades, diretrizes e critérios para a prática de reúso não potável de água (BRASIL, 2005). O reúso ainda se apresenta de maneira tímida no País, sendo inserido como uma das estratégias do Plano Nacional de Saneamento Básico (PLANSAB), que traz como diretriz promover a racionalização e o reúso da água, incluindo a pluvial e de esgotos tratados, considerando as especificidades socioambientais e levando em conta a inovação e a modernização de processos tecnológicos e a utilização de práticas operacionais sustentáveis (BRASIL, 2014).

A técnica, entretanto, ainda não é regulamentada no País, sendo aplicada apenas em alguns Estados, como Bahia, São Paulo, Ceará e no município de Caicó/RN.

Vale ressaltar que, durante as duas últimas décadas, o uso de esgotos para a irrigação de culturas aumentou significativamente e vem sendo largamente utilizado em diversos países. Os benefícios da água de reúso, proveniente de tratamento de efluentes, são inúmeros, desde a preservação da água potável para usos mais nobres até a possibilidade de substituição parcial do uso de fertilizantes e a redução de impactos ambientais, em vista da diminuição da contaminação dos corpos d'água e da preservação dos recursos hídricos (BERNARDI, 2003).

Diante dos significativos benefícios acima citados que o reúso de águas pode proporcionar, justifica-se a relevância de avaliar o tratamento e o reúso de água cinza, visando à minimização da escassez hídrica em propriedades agrícolas familiares no semiárido do Rio Grande do Norte. Para tanto, os sistemas de tratamento descentralizados tornam-se uma alternativa vantajosa para atender, especialmente, às comunidades isoladas, pois apresentam diversas possibilidades construtivas e operacionais para atendimento unifamiliar ou de pequenas comunidades (GOMES, 2015).

Entre as técnicas de tratamento mais utilizadas no semiárido estão a vermifiltração e a utilização de tanque séptico, podendo destacar-se também os filtros anaeróbios e os filtros de areia. Os filtros, no entanto, são tecnologias usualmente adotadas para o tratamento complementar ao tanque séptico e possuem dificuldades de manutenção e de operação, dada a possibilidade de geração de lodo e de colmatação do leito filtrante (MADRID, 2016).

Isso posto, a utilização do vermifiltro configura-se como solução descentralizada para o tratamento de águas residuárias em comunidades rurais, pois caracteriza-se como alternativa de baixo custo e técnica acessível para as comunidades isoladas (CAMPOS *et al.*, 2019). Esses vermifiltros são filtros biológicos compostos de camadas aeróbias e anaeróbias e de um substrato com matéria orgânica, que se utiliza de minhocas de espécies epigeicas detritívoras, geralmente utilizadas em processos de vermicompostagem (MADRID *et al.*, 2019). As minhocas promovem uma aeração natural, além de fragmentar sedimentos e areia. Para tanto, é necessário que estejam o mais próximas possível da matéria-prima utilizada como substrato (esterco). É fundamental também efetuar a manutenção do filtro a cada seis meses, quando se faz a troca da camada de areia por causa de sua colmatação.

O presente estudo, portanto, parte do pressuposto de que a prática de reutilização da água cinza é uma medida eficaz de enfrentamento da seca na região semiárida, proporcionando economia de água potável e de gastos com seu abastecimento, além de melhorias na qualidade de vida dos agricultores familiares. Objetiva avaliar o tratamento de água cinza para reúso em propriedade agrícola familiar no semiárido do Rio Grande do Norte, com a utilização do supracitado sistema de vermifiltro.

METODOLOGIA

Área de estudo

O sistema piloto de tratamento e reúso de água cinza foi implantado em uma propriedade agrícola familiar localizada na Fazenda Salgadinho, cujas coordenadas geográficas são 36°25'59" W e 5°76'37" S. A Fazenda Salgadinho, situada em comunidade homônima, está localizada na zona rural do município de Lajes/RN, a cerca de 8 km de distância da sede do município, e possui área de 36 ha.

O município de Lajes/RN possui clima semiárido quente, com índice pluviométrico de 440 mm anuais, umidade anual média relativa da região de 70%, insolação de 2.400 hora/ano e temperatura média de 27,2°C, atingindo temperaturas

máximas anuais acima de 33°C (CLIMATE-DATA, 2017). As principais fontes de abastecimento de água do município de Lajes/RN são rios, a adutora central do Cabugi, os açudes, os barreiros (locais utilizados para armazenar água de chuva proveniente do escoamento superficial), as cisternas e os poços. A área em foco no estudo é abastecida por barreiro, poço d'água e cisterna de água fornecida por carro-pipa do exército brasileiro, por meio da "Operação carro-pipa".

A unidade agrícola familiar foi concebida pelo Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR), que foi criado pelo governo federal no âmbito do programa "Minha casa, minha vida", por meio da Lei nº 11.977/2009, com a finalidade de permitir ao trabalhador rural, ao agricultor familiar e às comunidades tradicionais o acesso a moradia digna no campo (BRASIL, 2009). O sistema de tratamento adotado na implantação da residência foi tanque séptico e sumidouro, os quais passaram por adaptações realizadas pelo produtor ao longo do tempo. O tanque séptico foi adaptado para funcionar como vermifiltro e o antigo sumidouro foi impermeabilizado, tornando-se reservatório enterrado. O produtor construiu uma fossa com pneus, que se tornou o destino dos esgotos do vaso sanitário, as águas negras.

O projeto piloto atende a uma residência com três habitantes, e seu funcionamento iniciou-se em julho de 2017. Tal projeto partiu da iniciativa criada pelo Serviço Nacional de Aprendizagem Rural do Rio Grande do Norte (SENAR/RN), por intermédio do Programa Sertão Empreendedor, que desenvolveu o sistema de reúso de água cinza. Dessa forma, o piloto em questão não foi dimensionado para a presente pesquisa. Com esse programa, foram instalados 93 unidades de reúso, tendo como custo estimado R\$ 3.800 por unidade. O sistema foi criado em decorrência do longo período de estiagem com que a população do sertão nordestino convive. Assim, com recurso a essa tecnologia, buscou-se trazer melhores condições de vida para a população rural, tratando e utilizando para reúso a água da pia da cozinha, da lavanderia e do chuveiro, que antes era desperdiçada (SENAR/RN, 2018).

A água do barreiro é utilizada para o banho, bem como para a descarga do vaso sanitário, porém, quando o nível de abastecimento está baixo, é utilizada a água do poço. Já a água da cisterna, considerada potável, é destinada para beber, lavar os alimentos, cozinhar e tomar banho. Vale ressaltar que foram implantadas no banheiro encanações para o fornecimento das águas oriundas da cisterna, barreiro e poço, a depender da necessidade de cada uso.

Para estimar a vazão do sistema, foi considerado o quantitativo de 120 L/hab.dia, considerando-se o Manual de Saneamento, da Funasa (BRASIL, 2015), que converge com a norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR 13969/97. Como na propriedade agrícola em questão residem três moradores, a vazão estimada para a área de estudo foi de 360 L/dia, e, segundo Rapoport (2004), a vazão oriunda do vaso sanitário equivale a 30% do consumo.

A água cinza advinda das lavagens de roupa, louça, bem como do banho e da pia do banheiro foram canalizadas ou conduzidas para uma caixa de gordura e, posteriormente, encaminhadas para o sistema de tratamento da propriedade. Já as águas negras, aquelas provenientes dos vasos sanitários, são encaminhadas para uma fossa da unidade agrícola familiar.

O sistema de tratamento e reúso de água cinza é dotado de caixas de gordura, vermifiltro, reservatório enterrado, reservatório elevado e sistema de irrigação formado por mangueiras de polietileno de gotejamento. Na Figura 1, pode-se visualizar a planta hidráulica do referido projeto piloto. Segundo o produtor, ele trata uma vazão de 250 litros/dia, recebidos e encaminhados diariamente pelo sistema implantado, uma vez que o reservatório enterrado esvazia todo o efluente filtrado, encaminhando a água cinza tratada para o reservatório elevado, que posteriormente distribui, por gravidade, o volume mencionado no sistema de irrigação.

Sistema de tratamento de água cinza

O vermifiltro implantado, que recebe esse nome em razão da presença das minhocas no sistema de filtração, é composto de uma camada de minhoca sobre camadas de areia e de britas e seixos de diferentes tamanhos. A altura do filtro é de 80 cm, sendo 70 cm utilizados por seis camadas filtrantes, que estão distribuídas conforme representação da Tabela 1.

Vale ressaltar que o sentido do fluxo no filtro é descendente, tendo como primeira camada a de esterco curtido, conforme Figura 2.

No vermifiltro é possível observar duas camadas. Na parte superior do sistema, tem-se uma de característica aeróbia, graças à presença de uma camada superior de substrato com material orgânico e minhocas californianas (*Eisenia Fetida*), detritívoras; e, na parte inferior, ou seja, nas camadas que se seguem à primeira, tem-se a camada anaeróbia, que não requer oxigênio para a realização do processo de vermicompostagem na parte inferior do filtro.

Dessa forma, ficam retidos no topo do vermifiltro os sólidos suspensos presentes no esgoto bruto, que são decompostos inicialmente pelas minhocas e, em seguida, processados pelos microrganismos contidos em todas as camadas do biofiltro. Já na parte inferior do vermifiltro, as camadas inorgânicas servem como substrato fixador do biofilme, que promove a degradação anaeróbia/aeróbia da matéria orgânica (MADRID, 2016).

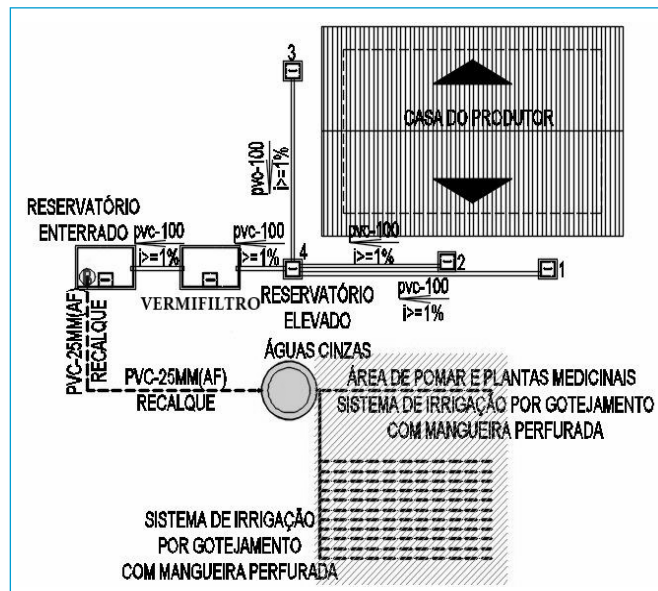


Figura 1 - Planta do sistema de tratamento e reúso de águas da Fazenda Salgadinho, na zona rural do município de Lajes/RN.

Tabela 1 - Composição do vermifiltro com dados das camadas, material filtrante, altura da camada do meio filtrante e tamanho médio da partícula.

Camadas do Filtro	Material Filtrante	Altura do Meio Filtrante (cm)
1ª camada	Esterco curtido e minhocas	10
2ª camada	Areia lavada	20
3ª camada	Brita de menor tamanho	10
4ª camada	Brita de maior tamanho	10
5ª camada	Seixo rolado	10
6ª camada	Tijolo deitado perfurado	10

Cabe destacar que o vermifiltro deve permanecer devidamente fechado para evitar a incidência de sol e chuva, bem como o contato com vetores, a exemplo das moscas, que depositam suas larvas na camada superior do filtro.

Sistema de reúso de água cinza tratada

Como mencionado anteriormente, o sumidouro foi isolado do sistema de tratamento originalmente implantado e passou a ser o reservatório enterrado, que consiste em um tanque de alvenaria com capacidade de armazenamento de 500 L de água cinza. Após o tratamento, as águas são encaminhadas para o reservatório enterrado.

A água do reservatório enterrado é bombeada para o reservatório elevado, que recebe diariamente o volume armazenado, enquanto as águas tratadas são encaminhadas, por gravidade, ao sistema de irrigação, dispensando, assim, a utilização de bombas para o processo de irrigação. Para a implantação do reservatório elevado, reutilizaram-se pneus de caminhões como apoio e suporte, e foi empregada uma caixa d'água de polietileno (reservatório elevado) com capacidade de armazenamento de 500 L.

O sistema de irrigação por gotejamento, composto de onze linhas de mangueiras de polietileno de gotejamento, irriga três culturas, a saber: palma forrageira (*Opuntia cochenillifera*), com as variedades IPA sertânia, miúda ou doce, gigante e orelha de elefante (*Opuntia stricta*); milho BRS Potiguar (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor*), variedade forrageira. Vale ressaltar que o sistema

possui área irrigada de 600 m² e encontra-se em operação, bem como passa periodicamente pelas devidas manutenções.

Caracterização da água cinza

Foram coletadas amostras de água cinza ao longo de dez campanhas, realizadas semanalmente e divididas em dois momentos operacionais distintos: o primeiro ocorreu antes da manutenção do sistema, da semana 1 à semana 7, entre 20 de outubro e 2 de dezembro de 2020; e o segundo ocorreu após a manutenção do sistema, da semana 8 à semana 10, entre 2 de fevereiro e 2 de março de 2021. Foram coletadas amostras pontuais da água cinza bruta e tratada (saída do reservatório elevado) por volta das 8 h da manhã, além de uma amostra composta no dia 2 de dezembro de 2020 às 8, 11, 14 e 15 h.

As amostras destinadas às análises físico-químicas foram armazenadas em recipientes de polietileno e aquelas destinadas às análises microbiológicas foram reservadas em frascos de polietileno devidamente esterilizados. Para as análises físico-químicas, foi coletado 1,5 L e, para as microbiológicas, 150 mL. Os recipientes foram acondicionados em caixas térmicas à temperatura de, aproximadamente, 4°C, a fim de que seus componentes químicos e biológicos fossem preservados.

As análises físico-químicas e microbiológicas foram analisadas no Núcleo de Análise de Águas, Efluentes e Alimentos (NAAE) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), campus Natal Central. As análises e as metodologias utilizadas estão apresentadas no Quadro 1.

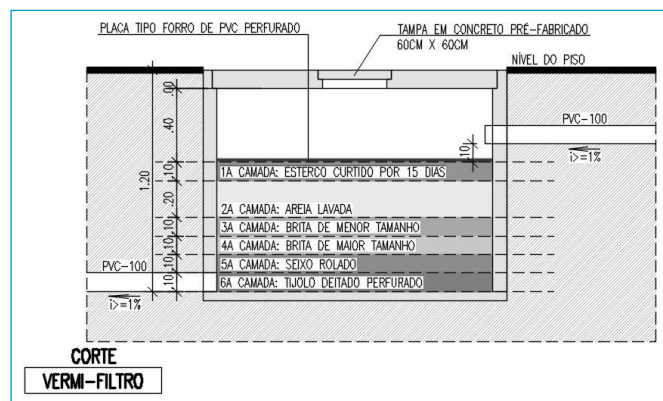


Figura 2 - Desenho esquemático das camadas do vermifiltro.

Análise e tratamento de dados

Os dados relativos aos parâmetros físicos, químicos e biológicos nos afluentes e efluentes do sistema de tratamento foram analisados por meio de testes estatísticos descritivos, de forma a verificar a tendência central, a amplitude e a dispersão. Para os parâmetros analisados, foram calculados as médias aritméticas, a mediana, os valores máximos e mínimos, o desvio padrão, os quartis inferior e superior, os percentis 25 e 75%, bem como as eficiências de remoção.

Foram realizados testes de normalidade para verificar a distribuição de frequência dos dados e direcionar as demais análises estatísticas empreendidas. Como o *n* da série temporal do estudo (número de semanas) foi menor ou igual a 10, o teste de normalidade aplicado foi o de Shapiro-Wilk, ao nível de significância (α) de 5% (BUSSAB; MORETTIN, 2017).

Quadro 1 - Indicadores físico-químicos e microbiológicos analisados e respectivas metodologias.

Variáveis	Unidade	Método	Referência
Temperatura	°C	Termômetro com filamento de mercúrio	
Cond. Elétrica	$\mu\text{S.cm}^{-1}$	Potenciométrico	APHA-2550
pH	-	Potenciométrico	APHA-2510 A, B
SST	mg/L	Gravimétrico – Filtração a vácuo e secagem a 103°C - 105°C	APHA-4500 - H+
Nitrogênio amoniacal	mg/L	Titulométrico com H ₂ SO ₄	APHA- 2540 D, E
Nitrogênio orgânico	mg/L	Digestão e titulação com (H ₂ SO ₄)	APHA-4500-H3 B, C
NTK	mg/L	Somatório	APHA - 4500 - Norg. A, B
Nitrato	mg/L	Titulométrico	APHA - 4500 - NH3 B, C, 4500-Norg. A, B
Fósforo Total	mg/L	Espectrofotométrico – digestão ácida e cloreto estanhoso	APHA - 4500-NO3- A, B
Ortofosfato solúvel	mg/L	Espectrofotométrico - cloreto estanhoso	APHA-4500-P.A, B,E
DBO ₅	mg/L	Titulométrico	APHA - 4500 - P. A, B, E
DQO	mg/L	Titulométrico	APHA - 2120 A, B e C; 4500 - O, C
Oxigênio Dissolvido	mg/L	Potenciométrico	APHA - 5220 A, C
Col. Termotolerantes	NMP/ 100 MI	Tubos múltiplos	APHA - 4500- O A, C APHA, AWWA e WEF (2017).

SST: sólidos suspensos totais; NTK: nitrogênio total Kjeldahl; DBO₅: demanda bioquímica de oxigênio ao quinto dia; DQO: demanda química de oxigênio.

De acordo com o teste de normalidade aplicado, foi observado que os parâmetros temperatura, condutividade elétrica, nitrogênio orgânico, nitrato e fósforo total apresentaram distribuição paramétrica. Já os parâmetros pH, sólidos suspensos totais (SST), nitrogênio amoniacal, nitrogênio amoniacal total, ortofosfato, demanda bioquímica de oxigênio ao quinto dia (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), oxigênio dissolvido e coliformes termotolerantes (CTT) tiveram distribuição não paramétrica.

Para avaliar se houve diferença estatisticamente significativa entre as médias dos parâmetros nos dois grupos de dados (efluentes bruto e tratado), foram aplicados os testes *t* pareado, de Student, para os dados dos parâmetros com distribuição paramétrica, e de Wilcoxon para os dados dos parâmetros com distribuição não paramétrica. Ambos os testes foram realizados ao nível de significância (α) de 5% ($p < 0,05$) (BUSSAB; MORETTIN, 2017). Também foi avaliado se houve diferença estatisticamente significativa entre as médias dos parâmetros nos períodos anterior e posterior à manutenção do sistema de tratamento, por meio da aplicação do teste *t* não pareado para os dados dos parâmetros com distribuição paramétrica e do teste de Mann-Whitney para os dados dos parâmetros com distribuição não paramétrica (BUSSAB; MORETTIN, 2017). Ambos os testes foram realizados ao nível de significância (α) de 5% ($p < 0,05$).

Foram gerados gráficos *box-plots* para melhor visualização dos resultados da estatística descritiva dos parâmetros analisados, além de gráficos representativos da variação temporal e da eficiência de remoção dos parâmetros no sistema ao longo

do período de monitoramento. Todos os gráficos e análises estatísticas foram realizados com o auxílio do *software* GraphPad Prism, na versão 6.0 para Windows.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O vermifiltro é uma solução economicamente viável em comparação ao tratamento realizado por meio de tanque séptico, pois é de baixo custo, mostrando-se técnica eficiente e acessível à população com baixo poder aquisitivo e surgindo como opção para minimizar a poluição ambiental (BORGES; COSTA; GONTIJO, 2019). Entretanto, apesar de ser uma técnica bastante difundida, a avaliação desse sistema de tratamento na região do semiárido nordestino não é habitual, ou seja, pouco se conhece da caracterização dos efluentes desses sistemas, tendo em vista que existem poucos estudos que façam menção à qualidade do efluente tratado.

Com base nos resultados apresentados na Tabela 2, observou-se que o sistema de tratamento utilizado neste estudo se mostrou eficiente na remoção de SST, DQO, DBO_5 e CTT.

Alguns autores também observaram que em sistemas de tratamento semelhantes, utilizando vermifiltros, os resultados foram parecidos, com remoção de 98% para DBO_5 , 74% para DQO e 99,9% para SST (LOURENÇO; NUNES, 2017). Esses resultados devem-se a esses sistemas serem eficientes na remoção de matéria orgânica, por meio de seu consumo pelas minhocas. Rothmund e

Tabela 2 – Estatística descritiva (média, desvio padrão, mínimo e máximo) das amostras de esgoto bruto e tratado antes e depois da manutenção.

Parâmetro	Antes da Manutenção		Pós-Manutenção		Remoção(%)
	EB	ET	EB	ET	
Temperatura	(24,5 ± 1,47) 22,2-26,0	(24,7 ± 1,54) 22,6-26,7	(23,6 ± 1,36) 22,5-25,1	(23,5 ± 1,16) 22,7-24,8	NOE
Cond. Elétrica	(2.903,3 ± 1152,9) 1102-4.250	(3724,7 ± 661,01) 2.488-4.220	(5.270 ± 696,35) 4.550-5.940	(4.900 ± 383,01) 4.480-5.230	NOE
pH	(5,8 ± 0,67) 4,9-6,7	(6,5 ± 0,28) 7,2-7,95	(7,7 ± 0,58) 7,0-8,1	(7,6 ± 0,23) 7,4-7,8	NOE
SST	(207,1 ± 86,35) 97,5-331,25	(12,9 ± 4,27) 10,6-22,67	(161,8 ± 134,12) 72-316	(33,2 ± 23,23) 14-59	AM 93,33 PM 79,50
Nit. Amoniacal	(3,6 ± 4,70) 0,8-14,28	(19,3 ± 6,02) 12,4-29,12	(3,0 ± 1,90) 1,9-5,2	(20,4 ± 2,93) 17,8-23,6	NOE
Nit. Orgânico	(1,0 ± 0,62) 0,3-1,96	(1,2 ± 0,89) 0,6-3,08	(2,2 ± 0,83) 1,4-3,0	(1,1 ± 0,68) 0,7-1,9	NOE
NTK	(4,6 ± 4,33) 2,2-14,56	(20,5 ± 6,54) 13,2-31,08	(5,2 ± 2,07) 3,3-7,4	(21,5 ± 3,59) 18,5-25,5	NOE
Nitrato	(1,2 ± 0,54) 0,4-2,04	(0,9 ± 0,69) 0,2-2,07	(0,7 ± 0,37) 0,3-1	(0,8 ± 0,66) 0,2-1,5	NOE
Fósforo Total	(2,3 ± 0,82) 1,9-4,39	(6,5 ± 1,74) 4,1-9,44	(0,6 ± 0,53) 0,1-1,2	(8,3 ± 2,13) 5,8-9,5	NOE
Ortofosfato Total	(0,9 ± 0,60) 0,2-2,10	(4,1 ± 1,66) 1,8-6,7	(0,1 ± 0,07) 0,1-0,1	(5,7 ± 1,92) 4-7,8	NOE
DBO_5	(1.007,2 ± 486,85) 504,9-2.079	(55,9 ± 29,32) 26,7-110,44	(262,6 ± 79,01) 213,2-353,7	(47,7 ± 31,10) 13,6-74,6	AM 93,88 PM 81,85
DQO	(1.492,4 ± 832,03) 821,9-3.034,24	(142,4 ± 63,32) 94,4-290,88	(787,9 ± 663,22) 396-1.553,6	(211,5 ± 69,14) 158,4-289,7	AM 89,69 PM 73,15
Oxigênio Dissolvido	(0,0 ± 0,0) 0-0	(0,0 ± 0,0) 0-0	(3,2 ± 1,98) 1,6-5,4	(0,0 ± 0,0) 0-0	NOE
CTT	5,3x10 ⁷	2,04x10 ⁷	3,26x10 ⁵	4,53x10 ⁵	AM 99,50 PM 97,7

EB: esgoto bruto; ET: esgoto tratado; AM: antes da manutenção; PM: pós-manutenção; NOE: não obteve eficiência; SST: sólidos suspensos totais; NTK: nitrogênio total Kjeldahl; DBO_5 : demanda bioquímica de oxigênio ao quinto dia; DQO: demanda química de oxigênio; CTT: coliformes termotolerantes.

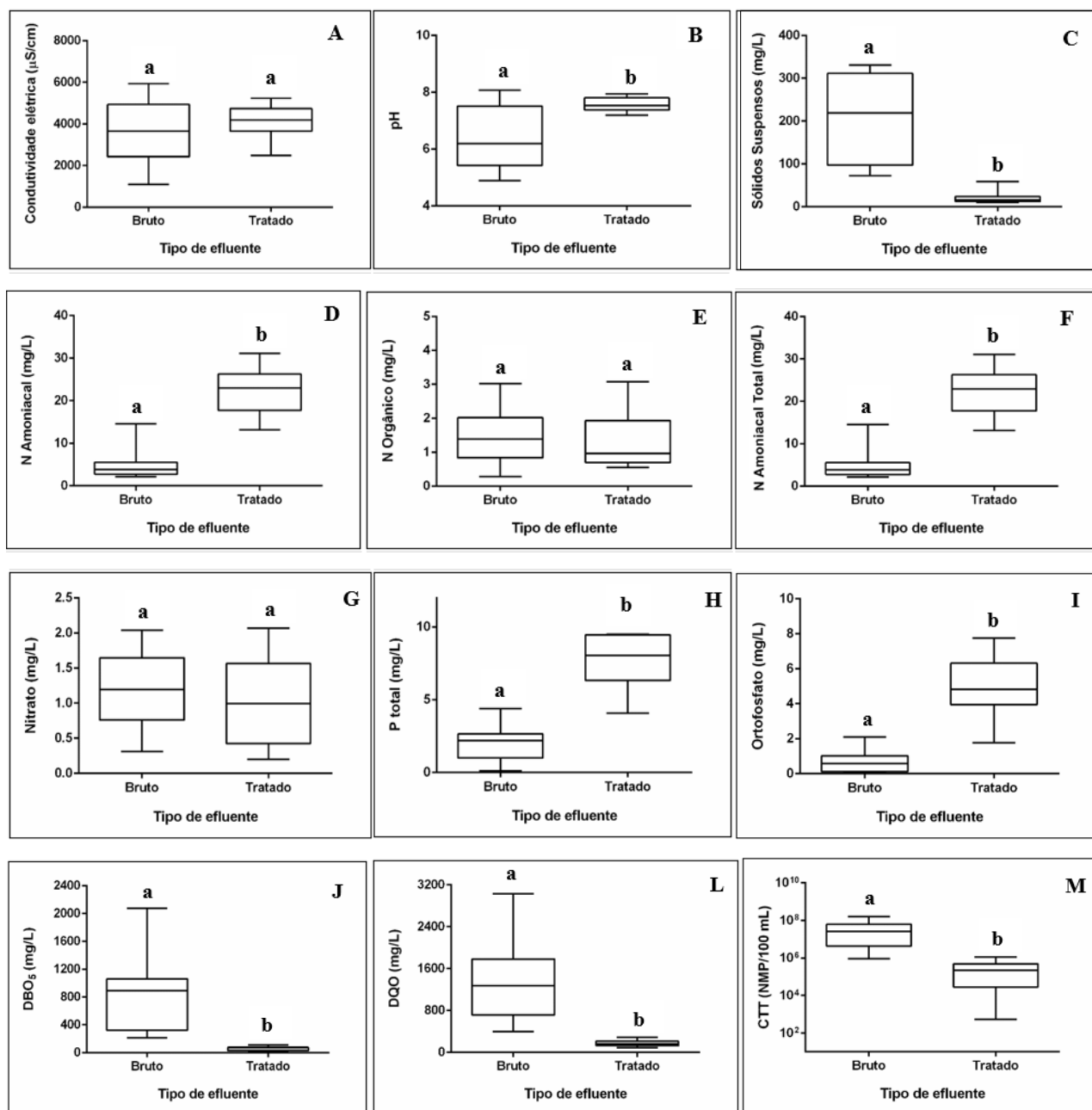
Becker Júnior (2018) explicam que a remoção de DBO₅ e DQO dos sistemas por eles estudados acontece em razão do processo enzimático manifestado no intestino das minhocas, que degrada diversos constituintes químicos não decompostos pelos microrganismos que habitam o sistema de tratamento. Dessa forma, relacionando esses resultados aos obtidos no presente trabalho, determina-se que é possível utilizar o efluente no reúso agrícola.

Pode-se afirmar que o sistema estudado se mostrou eficiente quando comparado com a tecnologia de tanque séptico. Esta foi explorada por Gomes (2015) em seu estudo sobre sistema de tanque séptico para tratamento de efluente

doméstico por um sistema de escala real em pequena comunidade, em que foi obtida eficiência equivalente para remoção dos parâmetros de DBO₅ e DQO.

A eficiência alcançada no presente trabalho no que tange aos CTT também pode ser justificada pela cobertura de uma secreção antibacteriana presente no vermicomposto, advinda dos fluidos celômicos, que inibe exclusivamente o crescimento de microrganismos patogênicos (VALEMOIS, 1982; DOMINGUEZ; EDWARDS, 2011 *apud* EDWARDS; ARANCON; SHERMAN, 2019).

O teste *t* de Student (Figura 3) mostrou que as concentrações dos parâmetros condutividade elétrica, nitrogênio orgânico e nitrato não diferiram



*Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste *t* pareado de Student (parâmetros com distribuição paramétrica) e pelo teste de Wilcoxon (parâmetros com distribuição não paramétrica) para $p \leq 0,05$.

Figura 3 - Box-plot da estatística descrita dos parâmetros (A) condutividade elétrica (µS/cm), (B) pH, (C) sólidos suspensos (mg/L), (D) fósforo total (mg/L), (E) ortofosfato (mg/L), (F) nitrogênio amoniacal (mg/L), (G) nitrogênio orgânico (mg/L), (H) nitrogênio amoniacal total (mg/L), (I) nitrato (mg/L), (J) DBO₅ (mg/L), (L) DQO (mg/L); e (M) coliformes termotolerantes (NMP/100 mL), nos efluentes bruto e tratado do sistema de tratamento do presente estudo antes e depois da manutenção*.

significativamente entre os efluentes bruto e tratado para o período monitorado, conforme demonstram as Figuras 3A, 3E e 3G. Já para os parâmetros pH, SST, nitrogênio amoniacal, nitrogênio amoniacal total, fósforo total, ortofosfato, DBO₅, DQO e CTT, o teste Wilcoxon revelou que houve diferença significativa nas concentrações desses parâmetros entre o efluente bruto e o tratado, como demonstram as Figuras 3B-D, 3F, 3E, 3H, 3J, 3L e 3M.

Esses resultados revelaram que o sistema não foi capaz de remover os parâmetros nitrogênio amoniacal, nitrogênio orgânico, nitrogênio amoniacal total, nitrato, fósforo total e ortofosfato, o que é previsto para um sistema de tratamento com vermifiltração. Os valores médios dos parâmetros de nitrogênio e fósforo aumentaram nas amostras de esgoto tratado em decorrência da simbiose, que permite a formação de um vermicomposto rico desses nutrientes, o qual homogeneiza a matéria orgânica ao longo do substrato (MADRID, 2016).

O sistema apresentou eficiências de remoção considerável (acima de 90%) para SST, DBO₅, DQO e CTT na maior parte do período de monitoramento, conforme registrado na Figura 4, especialmente nas Figuras 4A e 4D-4F, necessitando de etapas de pós-tratamento para complementar tais eficiências de remoção. Assim também ocorre em Madrid *et al.* (2019), que obtiveram rendimentos semelhantes na remoção de DBO₅, DQO e SST em seus estudos. Certamente, essa eficiência é decorrente da alta capacidade de adsorção promovida pelo leito e da degradação associada às minhocas e aos microrganismos presentes no meio (ARORA *et al.*, 2014).

Os parâmetros de nitrogênio amoniacal, nitrogênio amoniacal total, fósforo total e ortofosfato não obtiveram remoção, o que é bastante significativo para o sistema, uma vez que esses macronutrientes são essenciais para o desenvolvimento das culturas irrigadas. Esse resultado também foi observado em trabalhos como os de Campos *et al.* (2019), no qual os parâmetros para fósforo (37%) e nitrogênio (14%) apresentaram baixa ou insignificante eficiência de redução durante a condução do experimento em uma unidade piloto de vermifiltração.

Considerando-se o contexto em que o sistema está inserido, uma comunidade localizada na zona rural, a boa eficiência na remoção de sólidos e de matéria orgânica torna a comunidade proveitosa para a realização do processo de irrigação de culturas. Por ser um composto rico em nutrientes (nitrogênio e fósforo), pode ser aproveitado como biofertilizante, favorecendo também a nutrição das plantas.

Destaca-se que, conforme observado por Torres *et al.* (2019), o efluente tratado pode ser utilizado na irrigação das plantas somente após 72 horas da irrigação, uma vez que se observou decaimento bacteriano de 99,99%. O ideal, então, é que se faça a irrigação de forma alternada, respeitando o período de três dias. Assim é possível obter bons resultados para a remoção de CTT, deixando as culturas seguras para ingestão pelos animais, do ponto de vista sanitário e de acordo com o limite máximo permitido pelas diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) para irrigação agrícola com esgotos sanitários (OMS, 2006).

Os sólidos suspensos obtiveram média de remoção de 93,33% antes da manutenção do vermifiltro e uma média de remoção de 79,50% pós-manutenção. Essa elevada remoção de matéria orgânica na operação do vermifiltro demonstra ser um aspecto positivo diante dos períodos demandados por reatores anaeróbios para a estabilização do crescimento de biomassa e para sua capacidade de tratamento, que pode atingir de 4 a 6 meses (CHERNICHARO, 2007; MADRID *et al.*, 2019). No que tange à diminuição dos valores de eficiência de remoção pós-manutenção, ou seja, após a sétima semana de monitoramento, supõe-se que esteja diretamente associada à substituição do meio filtrante, decorrente da perda do biofilme adsorvido ao material filtrante.

A DBO₅ obteve média de remoção de 93,88% antes da manutenção e de 81,85% pós-manutenção. A DQO, por sua vez, registrou 89,70% antes da manutenção e 73,15% pós-manutenção. Já os CTT assinalaram média de remoção

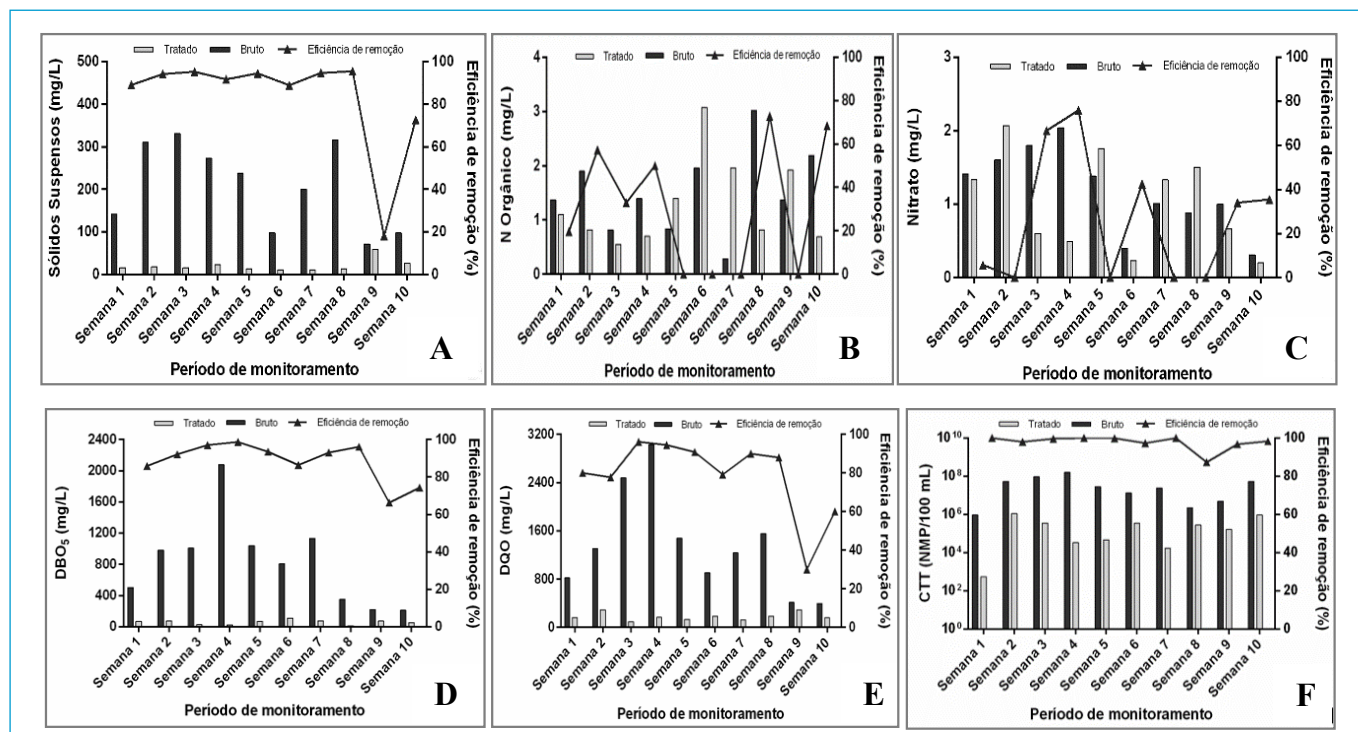


Figura 4 - Variação temporal e da eficiência de remoção dos (A) parâmetros sólidos suspensos (mg/L), (B) nitrogênio orgânico (mg/L), (C) nitrato (mg/L), (D) DBO₅ (mg/L), (E) DQO (mg/L) e (F) coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) nos efluentes bruto e tratado do sistema de tratamento do presente estudo.

de 99,49% antes da manutenção e de 97,77% pós-manutenção. De modo geral, observou-se diminuição nas eficiências de remoção pós-manutenção. Pode-se relacionar tal queda à instabilidade do sistema analisado, tendo em vista que são esperados déficits de eficiência decorrentes de um tempo mínimo de que o sistema precisa para estabilizar-se.

Conforme se observa na Figura 5, o processo de manutenção do sistema realizado após a semana 7 do período de monitoramento interferiu significativamente nas concentrações dos parâmetros avaliados.

CONCLUSÕES

Os resultados encontrados no estudo buscam incentivar a implantação e adaptação de mecanismos e de práticas que promovam a sustentabilidade nas unidades produtivas da agricultura familiar; aumentar as áreas de produção, uma vez que a utilização de águas cinzas causa melhoramento dos solos comprometidos e de baixa produtividade; e, conseqüentemente, estimular a

produção agrícola familiar na região do semiárido norte-rio-grandense, por meio do reúso de águas.

Identificou-se que o custo de implementação, operação e manutenção do vermifiltro, técnica focalizada neste estudo, é baixo graças à simplicidade do tratamento. O sistema apresentou, ainda, redução considerável nas concentrações de SST, DQO, DBO₅ e CTT, comprovando sua eficiência, bem como atendendo a recomendações/norteadores vigentes e aplicáveis ao tipo de efluente em análise.

Confirmou-se que o tratamento biológico utilizado é ferramenta fundamental na garantia da qualidade de vida da população, especialmente para aquela que vive na zona rural e sofre com a escassez hídrica constante, bem como é uma medida eficaz na preservação do meio ambiente.

A título de melhoria para o tratamento da unidade piloto estudada, faz-se necessária a implantação de um filtro de disco após a saída do reservatório elevado como forma de complementação do sistema piloto, e que auxiliará na remoção do residual de sólidos suspensos ainda presentes no efluente tratado e otimizará o sistema de irrigação.

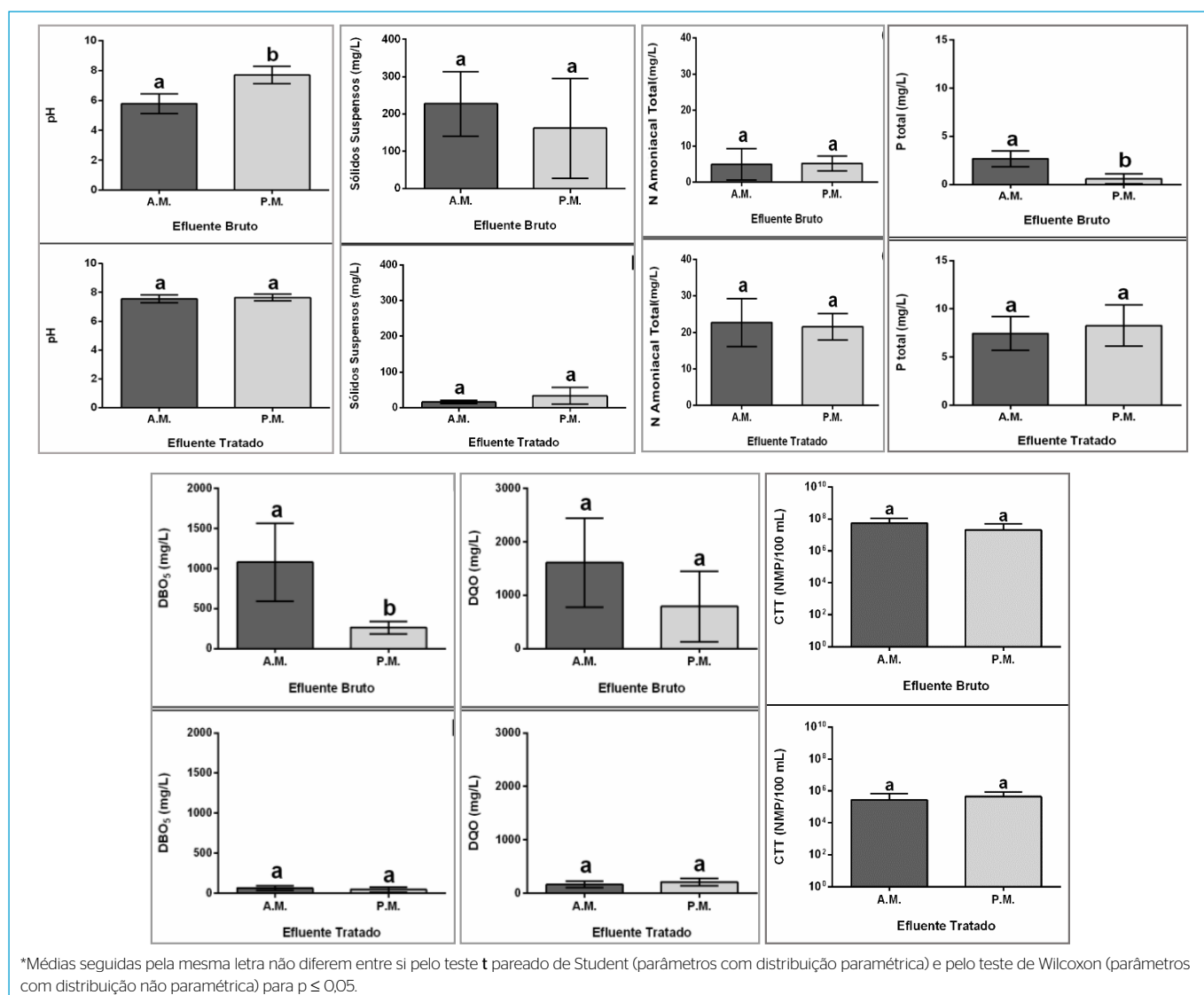


Figura 5 - Box-plot da estatística descritiva para a comparação entre os períodos antes e depois da manutenção, referente aos parâmetros de pH, sólidos suspensos (mg/L), fósforo total (mg/L), nitrogênio amoniacal total (mg/L), demanda bioquímica de oxigênio ao quinto dia (mg/L), demanda química de oxigênio (mg/L) e coliformes termotolerantes (NMP/100 mL) nos efluentes bruto e tratado*.

No que tange ao aspecto sanitário, os riscos são controláveis com tecnologia disponível e com combinações adequadas de técnicas de tratamento de esgotos, tipo de cultura, método de irrigação e barreiras sanitárias, admitindo, com isso, a utilização de esgotos sanitários em irrigação, com baixo risco à saúde pública, de forma econômica e tecnicamente viável.

Dessa forma, o sistema demonstra ser uma alternativa de baixo custo, com operação simplificada, que pode ser utilizado em regiões com escassez hídrica elevada e com populações de baixo poder aquisitivo residentes na zona rural.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Costa, R.L.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Recursos, Software, Validação, visualização, Escrita — Primeira Revisão, Escrita — Revisão e Edição. Torres, D.M.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise Formal, Investigação, Metodologia, Supervisão, Validação, visualização, Escrita — Primeira Revisão, Escrita — Revisão e Edição. Gomes, J.T.: Conceituação, Metodologia, Administração do Projeto, Supervisão, Validação. Silva, J.E.M.: Conceituação, Metodologia, Validação.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 23. ed. Washington, DC.: American Public Health Association, 2017.
- ANDRADE NETO, C.O. O que fazer com os esgotos tratados? *Infraestrutura urbana*, v. 9, p. 80, 2011.
- ARORA, S.; RAJPAL, A.; BHARGAVA, R.; PRUTHI, V.; BHATIA, A.; KAZMI, A.A. Antibacterial and enzymatic activity of microbial community during wastewater treatment by pilot scale vermifiltration system. *Bioresource Technology*, v. 166, p. 132-141, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.041>
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - projeto, construção e operação*. NBR 13969. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- BERNARDI, C.C. *Reúso de água para irrigação*. Monografia (Especialização em Gestão Sustentável da Agricultura Irrigada) - SEA-FGV Ecobusiness School, Distrito Federal, 2003.
- BORGES, T.N.; COSTA, R.M.; GONTIJO, H.M. Caracterização do efluente de uma indústria de laticínios: Proposta de tratamento. *Research, Society and Development*, v. 8, n. 1, p. e5081742, 2019. <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i1.742>
- BRASIL. Fundação Nacional da Saúde. *Manual de Saneamento*. 4. ed. Brasília: Funasa, 2015.
- BRASIL. Lei nº 11.977, de 7 de julho de 2009. Dispõe sobre o Programa Minha Casa, Minha Vida - PMCMV e a regularização fundiária de assentamentos localizados em áreas urbanas. *Diário Oficial da União*, Brasília, v. 1, n. 459, 2009.
- BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. *PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico*. Brasília, 2014.
- BRASIL. Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, v. 3, n. 1, Seção 1, p. 31-36, 2005.
- BUSSAB, W.O.; MORETTIN, P.A. *Estatística básica*. 9ª ed. São Paulo: Saraiva, 2017. 568 p.
- CAMPOS, F.; BUENO, R.F.; LEE, H.T.; NARISE, L.L. Vermifiltro: alternativa para tratamento de esgoto em sistemas descentralizados. *Revista DAE*, v. 68, n. 227, p. 182-196, 2019. <https://doi.org/10.36659/dae.2020.089>
- CAVALEIRO, A.R. *Reúso de águas cinzas e águas pluviais em edifícios residenciais*. 163f. Dissertação (Mestrado) - Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2014.
- CHERNICHARO, C.A.L. *Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 2. ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2007. v. 5. 379 p.
- CHRISPIM, M.C.; NOLASCO, M.A. Greywater treatment using a moving bed biofilm reactor at a university campus in Brazil. *Journal of Cleaner Production*, v. 142, parte 1, p. 290-296, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.162>
- CLIMATE-DATA. *Dados climáticos para cidades mundiais*. Disponível em: <https://pt.climate-data.org/>. Acesso em: 23 out. 2017.
- EDWARDS, C.A.; ARANCON, N.Q.; SHERMAN, R.L. (org.). *Vermiculture technology: earthworms, organic waste and environmental management*. Florida: CRC Press, 2019.
- FIORI, S.; FERNANDES, V.M.C.; PIZZO, H. Avaliação qualitativa e quantitativa do reúso de águas cinzas em edificações. *Ambiente Construído*, v. 6, n. 1, p. 19-30, jan./mar. 2006.
- GOMES, B.G.L.A. *Tratamento de esgoto de pequena comunidade utilizando tanque séptico, filtro anaeróbio e filtro de areia*. 2015. 138f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2015.
- LI, F. *Treatment of household grey water for non-potable reuses*. PhD (Tese) - Hamburg University of Technology, Hamburgo, 2009.
- LOURENÇO, N.; NUNES, L.M. Optimization of a vermifiltration process for treating urban wastewater. *Ecological Engineering*, v. 100, p. 138-146, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.11.074>
- MADRID, F.J.P.L. *Aplicação da vermifiltração no tratamento de esgoto sanitário*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2016.
- MADRID, F.J.P.L.; SCHNEIDER, J.; MARQUES, M.M.S.; PARIZOTTO, M.C.; FIGUEIREDO, I.C.S.; TONETTI, A.L. Vermifiltração: o uso de minhocas como uma nova alternativa para o tratamento de esgoto. *Revista DAE*, v. 67, n. 220, p. 128-140, 2019. <https://doi.org/10.4322/dae.2019.060>
- MASSOUD, M.A.; TARHINI, A.; NASR, J.A. Decentralized approaches to wastewater treatment and management: Applicability in developing

countries. *Journal of Environmental Management*, v. 90, n. 1, p. 652-659, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>

MENDONÇA, K.P.L. *Tratamento de águas cinza provenientes de lavanderias visando reúso*. 101f. 2019. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

MOURA, P.G.; ARANHA, F.N.; HANDAM, N.B.; MARTIN, L.E.; SALLES, M.J.; CARVAJAL, E.; JARDIM, R.; SOTERO-MARTINS, A. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 25, n. 6, p. 791-808, 2020. <https://doi.org/10.1590/S1413-4152202020180201>

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*. World Health Organization, 2006. v. 1. Disponível em: http://whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546824_eng.pdf. Acesso em: 10 jul. 2021.

RAPOPORT, B. *Águas cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reúso domiciliar e condominial*. 2004. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2004.

ROTHMUND, K.; BECKER JÚNIOR, A.M. Avaliação da viabilidade e proposta de tratamento de efluente doméstico em universidades através de um vermifiltro com minhocas da espécie *Eisenia andrei*. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL, 11., 2018, Porto Alegre.

Anais [...]. Porto Alegre: ABES-RS, 2018. Disponível em: http://www.abes-rs.uni5.net/centraldeeventos/_arqTrabalhos/trab_2_5553_20180819214047.pdf. Acesso em: 15 jul. 2021.

SARAIVA, M.G. *Crise hídrica e a dimensão ambiental da dignidade humana: uma análise teórica da questão do semiárido brasileiro*. 81f. 2018. Monografia (Curso de Direito) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2018.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM RURAL DO RIO GRANDE DO NORTE (SENAR/RN). *Sistema de Reúso de Águas Cinzas*. Natal: SENAR/RN, 2018. Disponível em: <https://www.senarrn.com.br/sistema-de-reuso-de-aguas-cinzas-senar-rn/>. Acesso em: 25 jul. 2021.

TORRES, D.M.; NASCIMENTO, S.S.; SOUZA, J.F.; FREIRE, J.O. Tratamento de efluentes e produção de água de reúso para fins agrícolas. *HOLOS*, ano 35, v. 8, e9192, 2019. <https://doi.org/10.15628/holos.2019.9192>

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Onsite Wastewater Treatment Systems Manual*. EPA/625/R-00/008. Washington, D.C.: Office of Water/Office of Research and Development/United States Environmental Protection Agency, 2002.

VALEMBOIS, P.; ROCH, P.; LASSEGUES, M.; CASSAND, P. Antibacterial Activity of the Hemolytic System from the Earthworm *Eisenia fetida*. *Journal of Invertebrate Pathology*, v. 40, n. 1, p. 21-27, 1982. [https://doi.org/10.1016/0022-2011\(82\)90032-5](https://doi.org/10.1016/0022-2011(82)90032-5)

