

DESEMPENHO DO SISTEMA BIOÁGUA IMPLANTADO NO COLÉGIO INDÍGENA ESTADUAL DOM JOSÉ BRANDÃO DE CASTRO*

LAÍSSY MESSIAS DOS SANTOS¹; RAIMUNDO RODRIGUES GOMES FILHO²;
LUCIANA COELHO MENDONÇA³ E GREGÓRIO GUIRADO FACCIOLI⁴

¹Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, s/n, Bairro Rosa Elze, CEP 49107-230, São Cristóvão, SE, Brasil, laissymessias@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0456-5415>

²Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, s/n, Bairro Rosa Elze, CEP 49107-230, São Cristóvão, SE, Brasil, rrgomesfilho@hotmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5242-7581>

³Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, s/n, Bairro Rosa Elze, CEP 49107-230, São Cristóvão, SE, Brasil, lumendon@academico.ufs.br, <https://orcid.org/0000-0001-6979-8135>

⁴Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Sergipe, Av. Marcelo Deda Chagas, s/n, Bairro Rosa Elze, CEP 49107-230, São Cristóvão, SE, Brasil, gregorioufs@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-2666-3606>

*Artigo oriundo da Dissertação de Mestrado de Laissy Messias dos Santos: “Desempenho do tratamento de água cinza em um Sistema Bioágua”. UFS, 2024.

1 RESUMO

Em alguns períodos do ano, em regiões áridas e semiáridas, a demanda por água torna-se maior que os recursos hídricos disponíveis localmente. Para reduzir impactos sociais e ambientais decorrentes dessa realidade, regularizar o reúso de água pode ser uma alternativa sustentável para tornar melhor a rotina de uma comunidade. Assim, objetivou-se nesta pesquisa avaliar o desempenho do tratamento de água cinza em um Sistema Bioágua (SBA), onde foram determinadas as características da água cinza bruta e tratada através dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, para analisar a qualidade da água cinza tratada para atender aos critérios de uso na irrigação. O SBA apresentou bom desempenho e valores satisfatórios de CE, STD, Nitrato, Nitrito, Óleos e graxas, OD, pH e RAS para uso na irrigação, segundo diretrizes pertinentes, mas indicou valores discordantes de Turbidez, Amônia e Fosfato.

Palavras-chave: escassez hídrica, tratamento de efluentes, tecnologia social.

SANTOS, L. M.; GOMES FILHO, R. R.; MENDONÇA, L. C.; FACCIOLI, G. G.
PERFORMANCE OF THE BIOÁGUA SYSTEM IMPLEMENTED AT THE DOM
JOSÉ BRANDÃO DE CASTRO STATE INDIGENOUS COLLEGE

2 ABSTRACT

At certain times of the year, in arid and semiarid regions, the demand for water becomes greater than that for locally available water resources. To reduce the social and environmental impacts of this situation, regulating water reuse can be a sustainable alternative to improve the routine of a community in these regions. The aim of this research was to evaluate the performance of gray water treatment in a biowater system (BWS), where the characteristics of the raw gray water and treated gray water were determined via physical, chemical and microbiological parameters, and to assess the quality of the treated gray water to meet the criteria for use in irrigation. The BWS showed good performance and satisfactory values for EC, TDS, nitrate, nitrite, oil and grease, DO, pH and SAR for use in irrigation, according to the relevant guidelines, but indicated discordant values for turbidity, ammonia and phosphate.

Keywords: water scarcity, effluent treatment, social technology.

3 INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para o fornecimento de serviços básicos à população como o abastecimento e geração de energia, mas é também um elemento indispensável para o setor da aquicultura, agricultura e pesca, além de proporcionar o turismo e atividades de lazer. Porém, em algumas regiões, a água disponível não supre a demanda requerida pela comunidade local, como em regiões áridas e semiáridas. Até 2050, aproximadamente metade da população urbana mundial (1,693 a 2,373 bilhões de pessoas) deve residir em regiões com escassez hídrica, incluindo 19 megacidades (He *et al.*, 2021). Diante dessa realidade, torna-se viável a utilização de fontes alternativas como o aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas residuais tratadas como subsídio para reduzir o impacto social e ambiental decorrente da escassez hídrica nessas regiões.

A prática do reúso de águas residuais tratadas contribui para uma gestão mais sustentável dos recursos hídricos, pelo aumento dos recursos hídricos necessários, redução da descarga de efluentes em corpos hídricos, proteção dos ecossistemas aquáticos e diminuição da quantidade de poluentes lançados no solo e ambientes aquáticos (Mendonça; Mendonça, 2017). As

possibilidades de reúso de efluentes tratados são diversas, mas, preferencialmente, para fins não potáveis, ressaltando-se que para cada uso é requerido um grau de qualidade diferente. Como estratégia de contribuir com a propagação do reúso de água no semiárido brasileiro, faz-se necessário o desenvolvimento de Tecnologias Sociais (TS) eficientes, mas com baixo custo de implantação, operação e manutenção.

As TS surgiram no Brasil em 2000 e são técnicas e/ou metodologias reaplicáveis desenvolvidas na interação com a comunidade e que representem efetivas soluções de transformação social (Dagnino, 2010). Algumas TS são voltadas para o tratamento e reúso de água cinza como tática para suprir o déficit hídrico na irrigação e economizar a água de abastecimento para atividades que exigem água com melhor qualidade, como: Círculo de bananeiras, Jardim filtrante, Vermifiltro e Sistema Bioágua. Essas TS têm como função comum melhorar a qualidade da água cinza para um uso seguro na atividade pretendida, mas a definição da tecnologia a ser utilizada depende da qualidade do efluente, que pode ser conhecida a partir da análise das características físicas, químicas e microbiológicas.

Diante do exposto, o trabalho tem o objetivo de avaliar o desempenho do

tratamento e reúso de água cinza em um Sistema Bioágua por meio de análises dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos, de modo a avaliar a qualidade da água cinza tratada, de acordo com os critérios exigidos para aplicação da água de reúso na irrigação.

4 CONTEXTUALIZAÇÃO

4.1 Reúso de água cinza

Pesquisas e políticas públicas sobre o reúso de água têm se expandido, sobretudo em relação ao reúso de água cinza devido ao déficit hídrico em algumas regiões (Pinto *et al.*, 2021). No Brasil, mesmo com a viabilidade não-comprovada, o número de edificações com sistemas de reúso de água cinza cresce gradualmente em favor da sustentabilidade.

Eriksson *et al.* (2002) definem a água cinza como efluente gerado pelo uso de máquinas de lavar roupa ou louça, pias de cozinha, banheiras, chuveiros e lavatórios, mas, sob outra perspectiva, Nunes (2014), ao definir a água cinza, desconsidera o efluente originário do uso de pias de cozinha e máquinas de lavar louça decorrente a altas concentrações de óleos e gorduras. Mas os autores supracitados consideram que a água cinza se diferencia do esgoto bruto por não ter contribuição de efluente gerado pelo uso de vasos sanitários. Segundo Borges (2003), a água cinza que provém de banheiras, chuveiros e lavatórios contém gorduras, sabões, óleos entre outros poluentes; a água cinza originária de máquinas de lavar roupa ou lavanderias tem alta concentração química de sódio, fosfato, nitrogênio, boro e surfactantes; e a água cinza originária de máquinas de lavar louça ou pias de cozinha apresenta uma contaminação física maior decorrente da presença de partículas de alimentos, gorduras e óleos.

De acordo com Barbosa (2019), por ser um efluente com menor teor de matéria

orgânica e microrganismos patogênicos comparado ao efluente derivado do uso de vasos sanitários, a água cinza pode ser reutilizada em finalidades não potáveis, como: irrigação, descarga sanitária, combate a incêndio, lavagem de carros, entre outros.

Oteng-Peprah, Acheampong e deVries (2018) consideram que, para uma gestão hídrica sustentável, a prática do reúso de água cinza torna-se um instrumento para a redução da demanda por água potável, mas deve-se considerar os riscos associados à reutilização.

4.2 Sistemas Bioágua implantados no semiárido Brasileiro

O Sistema Bioágua é uma TS que tem sido disseminada desde 2009, quando foram implantados em residências familiares em São Geraldo em Olho D'Água do Borges/RN através do Projeto Dom Hélder Câmara (PDHC), nomeando-se de Sistema Bioágua Familiar (SBF), mas foi em 2013 que a implantação se fortaleceu com a instalação de 200 SBF no Sertão do Apodi/RN através do Projeto Petrobras Socioambiental (Santiago *et al.*, 2015).

Em 2015, o Instituto Bem Viver (IBV) implantou 13 SBF em comunidades do Sertão dos Crateús e Sertão dos Inhamuns, no estado do Ceará (IBV, 2018). Ainda nesse ano, a Associação Voluntários para o Serviço Internacional Brasil (AVSI Brasil) desenvolveu o Projeto de Segurança Alimentar para o Semiárido de Pernambuco que construiu 131 SBF em municípios do agreste pernambucano (Gouveia, 2015).

No ano seguinte, em 2016, o IBV implementou 35 SBF em comunidades cearenses dos municípios de Independência, Ipaporanga e Monsenhor Tabosa (IBV, 2018) e a AVSI BRASIL, através do Projeto Pankaiwka Sustentável: Bioágua, Agroecologia e Nutrição por uma Aldeia Saudável, construiu dois SBF na Aldeia Indígena Pankaiwka localizada em Tacaratu-PE (Gouveia, 2017).

Em 2017, um SBF modelo foi instalado na Escola Família Agrícola Dom Frágoso em Independência/CE e cinco SBF na Aldeia Fidélis em Quiterianópolis/CE (IBV, 2018).

Entre 2016 e 2019, foram implantados inicialmente 22 SBF e posteriormente 32 SBF pela AVSI Brasil em Jucati/PE, por meio dos projetos Jucati Sustentável 1 e Jucati Sustentável 2, respectivamente (Gouveia, 2018).

Com o Projeto Enel Compartilha Infraestrutura – Bioágua Familiar, a AVSI Brasil, em 2018, beneficiou famílias do município de Cafarnaum/BA e Morro do Chapéu/BA com a implantação de 60 SBF (Gouveia, 2019).

Na microrregião do Sertão de Crateús/CE, nos municípios de Monsenhor Tabosa, Nova Russa e Tamboril, a Esplar Centro de Pesquisa e Assessoria implantou 29 SBF através do Projeto Educação para Liberdade (EPL), em 2019 (ESPLAR, 2019).

Entre 2021 e 2023, a AVSI Brasil implantou 29 SBF em Campo Formoso/BA e Juazeiro/BA através do Projeto Semiárido Sustentável e 20 SBF na zona rural de Mata de São João/BA pelo projeto Semear & Colher (AVSI, 2022).

Em Sergipe, foram implantados, em 2019, dois SBF nos municípios de Poço Redondo e Feira Nova pelo Projeto Reúso de Água para Fomento de Quintais Produtivos no Semiárido do Nordeste do Brasil (Santos, 2020). E, em 2024, pelo Instituto Pangea foi implantado, no Colégio Indígena Estadual Dom José Brandão de Castro localizado no município de Porto da Folha, o Sistema Bioágua apresentado nesta pesquisa.

Os sistemas implantados nas comunidades do semiárido, além de promover o reaproveitamento hídrico e contribuir na segurança alimentar, possibilita o crescimento da renda familiar, devido à oportunidade de comercialização dos alimentos excedentes produzidos nos quintais produtivos.

4.3 Legislações e normas nacionais acerca do reúso de água

Embora o reúso de água ocorra em algumas regiões do Brasil, a ausência de legislações específicas com orientações bem definidas dificulta a difusão da prática, mas há legislações e normas nacionais que discutem sobre o assunto, como as seguintes:

- Resolução nº 357/2005 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA): classifica e estabelece os níveis de qualidade de águas doces, salobras e salinas e para cada classe é definido em qual atividade a água pode ser utilizada adequadamente (Brasil, 2005a);
- Resolução nº 121/2010 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH): estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal e considera que o reúso da água reduz os custos associados à poluição, contribuindo para a proteção do meio ambiente e da saúde pública (Brasil, 2010);
- NBR 16783/19 da ABNT (Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações): considera como usos não potáveis a irrigação, lavagem de pisos e veículos, descarga de vasos sanitários, paisagismo e pastagens e define padrões de qualidade da água de reúso para um reúso seguro (ABNT, 2019);
- Lei Federal nº 14.546/2023: decreta que a União estimule o reúso não potável da água cinza após tratamento em novas edificações e em atividades paisagísticas, agrícolas, florestais e industriais (Brasil, 2023).

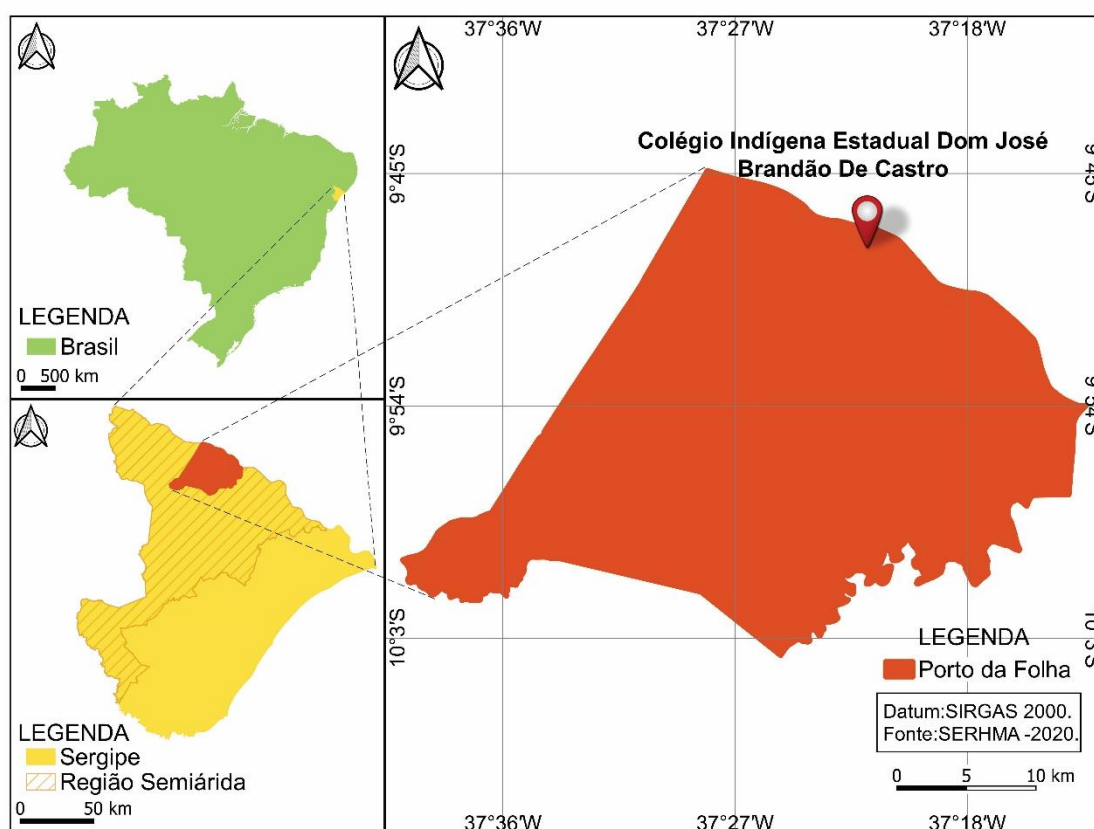
5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Área de Estudo

A pesquisa foi realizada no Colégio Indígena Estadual Dom José Brandão de Castro (CIEDJBC) no território indígena Ilha de São Pedro, localizado no município de Porto da Folha, na microrregião do sertão do São Francisco no estado de Sergipe,

distante 153 Km da capital Aracaju/SE (Figura 1). O município é caracterizado pelo bioma caatinga e está sob as coordenadas geográficas 9°55'10" Sul, 37°16'29" Oeste e altitude de 38 metros acima do nível do mar. A área total do colégio equivale a 4.922,64 m², onde encontra-se construído o prédio principal, a quadra poliesportiva, o Sistema Bioágua (SBA) e a cisterna.

Figura 1. Localização do CIEDJBC



Fonte: SERHMA (2020).

Elaborador: Eng. José Carlos Benício do N. Filho (2023)

Diante da escassez hídrica na comunidade, o SBA foi construído visando estimular o uso de tecnologias socioambiental para captação, armazenamento e uso da água e permitir que os alunos utilizem o sistema de tratamento de água como espaço de aprendizagem.

5.2 Sistema Bioágua

O SBA realiza o tratamento por mecanismo de impedimento físico e biológico dos resíduos contidos na água cinza proveniente da pia da cozinha do colégio, sendo o sistema composto por: caixa de gordura com volume útil de 0,175m³, filtro biológico com volume útil de 4,83m³, tanque de reúso com volume útil de

4,83m³, viveiro com mil mudas de 25 distintas espécies florestais arbóreas nativas da caatinga, minhocário e casa da bomba (Figura 2). O filtro biológico é de fluxo descendente e composto por cinco camadas: Húmus de minhoca (10 cm); Raspa de

madeira (50 cm); Areia lavada (10 cm); Brita (10 cm) e Seixo (20 cm). Parte da matéria orgânica presente na água cinza é biodegradada pela população de minhocas vermelhas da Califórnia (*Eisenia fetida*), incluídas na primeira camada.

Figura 2. Componentes do Sistema Bioágua



Legenda: A- Caixa de gordura; B- Filtro Biológico; C- Casa da eletrobomba; D- Tanque de reúso; E- Minhocário; F- Viveiro; G- Sistema Bioágua

Fonte: Autores (2024)

Como forma de reúso, definido por World Health Organization (1973), o SBA deste estudo se classifica como Reciclagem interna, pois o sistema promove o reúso interno nas instalações do colégio e tem como objetivo economizar a água e controlar a poluição. E, em relação à modalidade de reúso conforme definição da Resolução nº 54 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) (Brasil, 2005b), o sistema

enquadra-se para fins ambientais, visto que a água de reúso é utilizada para implantar projetos de recuperação do meio ambiente, pois, posteriormente, quando as mudas alcançarem a estrutura ideal para o plantio, serão utilizadas para o projeto de reflorestamento do território indígena, recuperando as fontes hídricas, áreas de caatinga e de mata ciliar.

5.3 Caracterização da água cinza e análise para uso na irrigação

Para avaliar a eficiência do SBA através das características química, física e microbiológica da água cinza, foram realizadas amostragens e análises da água cinza bruta e água cinza tratada a cada sete dias, compreendendo seis amostragens no período experimental de 36 dias.

As análises das amostras foram realizadas pelos laboratórios integrados da Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO), localizados na cidade de Aracaju/SE, conforme metodologias descritas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017), com exceção dos parâmetros pH e Temperatura que foram analisados *in loco*, utilizando pHmetro de bolso modelo AK95 da marca AKSO.

Os parâmetros analisados foram:

- Físicos: Condutividade Elétrica (CE), Cor aparente, Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Temperatura (T) e Turbidez;
- Químicos: Amônia (NH_3), Cálcio (Ca), Cloro residual livre, Fosfato (PO_4), Magnésio (Mg), Nitrato (NO_3^-), Nitrito (NO_2^-), Óleos e graxas, Oxigênio Dissolvido (OD), Potencial Hidrogeniônico (pH) e Sódio (Na);
- Microbiológicos: Coliformes totais e *Escherichia coli* (*E. coli*).

A fim de avaliar o uso da água cinza tratada sob aspectos legais para reúso agrícola, foi realizado levantamento de documentos e legislações nacionais e internacionais que abordam sobre qualidade da água para uso na irrigação (Tabela 1). Sendo a água cinza tratada utilizada para irrigação de culturas arbóreas, ressalta-se que, quando consultada a resolução do CONAMA nº 357 (Brasil, 2005a) como referência para análise dos parâmetros, considerou-se as condições e padrões exigidos para águas doces classe 3.

Tabela 1. Métodos analíticos e Valor Máximo Permitido

PARÂMETRO	VMP	REFERÊNCIA
PARÂMETROS FÍSICOS		
Turbidez (uT)	≤ 100 uT	CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005a)
PARÂMETROS QUÍMICOS		
NH ₃ (mg/L)	≤ 5 mg/L	FAO (Ayers; Westcot,1985)
PO ₄ (mg/L)	≤ 2 mg/L	FAO (Ayers; Westcot,1985)
NO ₃ ⁻ (mg/L)	≤ 5 mg/L	<i>Guidelines for water reuse 2012</i> (USEPA, 2012)
	≤ 10 mg/L	FAO (Ayers; Westcot,1985)
NO ₂ ⁻ (mg/L)	$\leq 1,0$ mg/L	CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005a)
Óleos e graxas (mg/L)	Virtualmente Ausente	CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005a)
OD (mg/L)	≥ 4 mg/L	CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005a)
pH	6,5 – 8,4	FAO (Ayers; Westcot,1985)
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS		
	$\leq 10^4$ E.coli/100ml	Tratamento e utilização de esgotos sanitários (PROSAB, 2006)
<i>E.coli</i> (UFC/100ml)	≤ 4.000 NMP/100ml	CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005a)
	10^5 E.coli/100ml – 10^6 E.coli/100ml	<i>Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater</i> (World Health Organization, 2006)

Fonte: Autores (2024)

As análises de CE e STD foram utilizadas para avaliar o risco de salinização do solo e a Razão de Adsorção de Sódio (RAS) e CE, para avaliar o risco de redução

da taxa de infiltração da água no solo, segundo as recomendações da FAO para interpretação da qualidade da água para irrigação (Tabela 2).

Tabela 2. Diretrizes de restrição de uso da água na irrigação de acordo com a FAO

PARÂMETRO	RESTRIÇÃO DE USO NA IRRIGAÇÃO		
	Nenhuma	Leve a moderada	Forte
Risco de salinização do solo			
CE (dS/m)	< 0,7	0,7 – 3,0	> 3,0
STD (mg/L)	< 450	450 – 2.000	> 2.000
Risco de redução da taxa de infiltração no solo			
RAS	CE (dS/m)		
0 – 3	> 0,7	0,7 – 0,2	< 0,2
3 – 6	> 1,2	1,2 – 0,3	< 0,3
6 – 12	> 1,9	1,9 – 0,5	< 0,5
12 – 20	> 2,9	2,9 – 1,3	< 1,3
20 – 40	> 5,0	5,0 – 2,9	< 2,9

Fonte: Adaptado de Ayers e Westcot (1985)

A RAS foi calculada a partir dos valores encontrados de Na, Ca e Mg em miliequivalente por litro e utilizou-se a Equação 1 (Bernard; Soares; Mantovani, 2006):

$$RAS = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \quad (1)$$

A análise de desempenho do SBA foi realizada também observando a variação (Var (%)) dos parâmetros: Cor aparente, Sólidos Totais Dissolvidos, Turbidez, Amônia, Fosfato, Óleos e graxas, pH, Coliformes Totais e *E. coli*. Para o cálculo de variação, utilizou-se a Equação 2, onde C_T corresponde a concentração do parâmetro da água cinza tratada e C_B a concentração do parâmetro na água cinza bruta.

$$Var(\%) = \left(1 - \frac{C_T}{C_B}\right) \times 100 \quad (2)$$

Para análises de Cor aparente, Temperatura, Cloro residual livre e Coliformes Totais, não foram encontradas referências com recomendações de VMP para uso na irrigação.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1 Desempenho do Sistema Bioágua

Com base nos resultados apresentados na Tabela 3, notou-se que o Sistema Bioágua se mostrou eficiente com as reduções de Turbidez, Amônia, Óleos e graxas, Coliformes Totais e *E. coli*. Por outro lado, observou-se que houve aumento de Cor aparente, pH e STD, mas o aumento dos valores de pH demonstrou a eficiência do sistema de tratamento em torná-lo mais próximo ao pH neutro encontrado em água potável.

Os Sistemas Bioágua instalados em comunidades da zona rural do estado do Ceará, analisados por Barbosa (2019), apresentaram eficiência de redução de turbidez de 82,53% e valores médios de turbidez de 326,81 uT (água cinza bruta) e 114,94 uT (água cinza tratada).

No semiárido da Paraíba, sistemas semelhantes ao Sistema Bioágua instalados em propriedades rurais de quatro municípios, apresentaram concentrações de amônia entre 0,02 e 5,5 mg/L e de fosfato entre 0,09 a 5,55 mg/L (Lopes *et al.*, 2021).

Esses valores podem ser decorrentes do uso de fontes variáveis de água cinza onde, na maioria desses sistemas, foi utilizada água cinza originária de pia de cozinha e lavanderia, diferenciando do sistema desta pesquisa que apenas utilizou água cinza proveniente de pia de cozinha, o que pode justificar a alta concentração de fosfato devido ao uso recorrente de detergente.

Ao analisar a eficiência de tratamento pelo Sistema Bioágua instalado em Olho d'Água do Borges/RN, Silva *et al.* (2018) encontraram, diferente desta

pesquisa, valores de pH da água cinza bruta aproximados do valor de pH neutro, entre 6,55 a 7,66. Em relação a cor aparente, os autores encontraram valor mínimo de 215 uC e máximo de 240 uC.

Barroso *et al.* (2023) ao avaliarem a qualidade da água cinza em um Sistema Bioágua familiar para reúso agrícola na região do Baixo Jaguaribe/CE, encontraram, entre as 23 amostras analisadas, valores de STD entre 482 e 1.454 mg/L e valor médio de 836,42 mg/L.

Tabela 3. Estatística descritiva (média, desvio padrão, mínimo e máximo) das amostras de água cinza bruta e tratada

	Água cinza bruta	Água cinza tratada	Adição ↑ Remoção ↓
PARÂMETROS FÍSICOS			
CE (dS/m)	(1,13 ± 0,34) 0,91 – 1,8	(1,71 ± 0,48) 0,89 – 2,20	-
Cor aparente (uC)	(1.011 ± 513) 379 – 1.520	(1.375 ± 1.126) 351 – 2.980	↑ 36,0%
STD (mg/L)	(740 ± 184) 580 – 1.100	(1.156 ± 425) 630 – 1.754	↑ 56,2%
T (°C)	(30 ± 2,42) 27,2 – 33,3	(30,0 ± 1,10) 27,9 – 31,1	-
Turbidez (uT)	(1.153 ± 734) 238 – 2.230	(141 ± 136) 22,8 – 407	↓ 87,7%
PARÂMETROS QUÍMICOS			
NH ₃ (mg/L)	(26,2 ± 20,5) 0,00 – 55,7	(12,6 ± 13,6) 0,81 – 34,0	↓ 51,7%
Ca (meq/L)	(3,76 ± 2,53) 0,97 – 7,18	(9,27 ± 6,15) 4,01 – 17,3	-
Cloro residual livre (mg/L)	(0,00 ± 0,00) 0,00 – 0,00	(0,00 ± 0,00) 0,00 – 0,00	-
PO ₄ (mg/L)	(50,2 ± 80,7) 6,29 – 214	(59,5 ± 86,1) 15,9 – 234	↑ 18,5%
Mg (meq/L)	(1,96 ± 1,32) 0,52 – 3,79	(6,34 ± 2,69) 3,36 – 9,94	-
NO ₃ - (mg/L)	(4,60 ± 9,76) 0,00 – 24,5	(4,06 ± 7,31) 0,00 – 18,9	-
NO ₂ - (mg/L)	(0,00 ± 0,00) 0,00 – 0,00	(0,00 ± 0,00) 0,00 – 0,00	-
Óleos e graxas (mg/L)	(2.573 ± 3.543) 978 – 9.800	(600 ± 79,8) 458 – 689	↓ 76,7%
OD (mg/L)	(0,32 ± 0,16) 0,12 – 0,61	(4,99 ± 3,46) 0,49 – 7,97	-
pH	(5,38 ± 0,47) 4,87 – 6,13	(7,05 ± 0,41) 6,52 – 7,58	↑ 31,0%
Na (meq/L)	(13,9 ± 12,2) 5,02 – 36,3	(11,5 ± 1,66) 10,3 – 14,1	-
PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS			
Coliformes totais (UFC/100ml)	(9.302.533 ± 10.850.266) 1.987.200 – 29.850.000	(610.626 ± 614.490) 1.008 – 1.516.500	↓ 93%
<i>E.coli</i> (UFC/100ml)	(774.283 ± 315.889) 369.700 – 1.125.000	(43.058 ± 96.300) 29 – 239.500	↓ 94%

Fonte: Autores (2024)

6.2 Avaliação da água cinza tratada para uso na irrigação

A salinidade é capaz de reduzir a disponibilidade de água no solo e prejudicar a planta. Assim, para avaliar a concentração total de sais contido na água destinada para irrigação, observou-se a condutividade elétrica. Nota-se, na Tabela III, que a condutividade elétrica da água cinza tratada apresentou valores entre $0,89 \text{ dS/m} \leq \text{CE} \leq 2,20 \text{ dS/m}$ que, de acordo com a FAO, é considerada uma água com grau de restrição de uso leve a moderado.

Além da condutividade elétrica, a elevada concentração de sólidos totais dissolvidos também afeta a disponibilidade de água para as culturas. Segundo a FAO, a água cinza tratada está classificada com grau de restrição de uso leve a moderado, pois os valores de STD estão entre 450 e 2.000 mg/L.

Em relação à turbidez, observou-se que o valor médio na água cinza tratada ultrapassou a recomendação do CONAMA, que estabelece turbidez até 100 uT para águas doces classe 3. Assim também ocorreu com o valor médio da concentração de amônia e fosfato, pois os valores limites aceitáveis presente na água destinada para irrigação é 5 mg/L e 2 mg/L, respectivamente, conforme as diretrizes estabelecidas pela FAO.

De acordo com Barbosa (2019), o nitrato é um nutriente importante para fertilidade do solo, porém, se encontrado em

alta concentração, torna-se prejudicial ao desenvolvimento das plantas. Segundo a USEPA, a água destinada para irrigação com concentração de nitrato inferior a 5 mg/L não tem nenhum grau de restrição de uso e, de outra forma, a FAO estabelece uma concentração de até 10 mg/L de nitrato na água destinada à irrigação, assim sendo, o valor médio da água cinza tratada (4,06 mg/L) foi satisfatório.

A água cinza não apresentou concentração de nitrito, estando assim de acordo com a resolução do CONAMA que estabelece que a concentração de nitrito não pode exceder 1,0 mg/L para águas doce classe 3.

Em relação ao oxigênio dissolvido, o valor médio na água cinza tratada foi de 4,99 mg/L, ou seja, superior a 4mg/L conforme recomendação pela resolução do CONAMA.

De acordo com a FAO, o valor aceitável de pH da água destinada para irrigação está entre 6,5 – 8,4, sendo assim o valor médio de pH da água cinza tratada está no intervalo estabelecido (7,05).

A capacidade de infiltração da água no solo cresce com o aumento de sua salinidade e decresce com o aumento da RAS (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006). Assim, mediu-se o grau de restrição da água cinza tratada destinada para irrigação conforme a FAO, que orienta a análise da salinidade juntamente com a RAS, sendo a salinidade expressa pela concentração de condutividade elétrica (Tabela 4).

Tabela 4. Razão de Adsorção de Sódio

Coleta	C1	C2	C3	C4	C5	C6
RAS	2,87	2,83	4,05	5,63	6,54	5,60
CE (dS/m)	1,71	1,82	0,89	2,2	2,14	1,51
Grau de restrição (AYERS; WESTCOT, 1985)	Nenhum	Nenhum	Leve a moderado	Nenhum	Nenhum	Nenhum

Fonte: Autora (2024)

Conforme a classificação de grau de restrição da água para irrigação estabelecida pela FAO, apenas a água cinza tratada da coleta C3 classificou-se com grau de restrição leve a moderado, distinguindo das demais coletas que se apresentaram sem grau de restrição para uso na irrigação.

De acordo com os limites estabelecidos pelo PROSAB e CONAMA para presença de *E. coli* na água destinada para irrigação, os valores encontrados na água cinza tratada superaram o recomendado por essas diretrizes.

7 CONCLUSÕES

Em um cenário de escassez hídrica, comumente encontrado em regiões áridas e semiáridas, a implantação de tecnologias sustentáveis torna-se uma ferramenta para suprir a demanda de água requerida por uma comunidade.

O Sistema Bioágua desta pesquisa, como ferramenta para suprir a necessidade por água na irrigação, mostrou bom desempenho no tratamento de água cinza. No entanto, foram observadas algumas variações e não foram encontradas referências com recomendações de limites aceitáveis na água para irrigação dos parâmetros: Cor aparente, Temperatura, Cloro residual livre e Coliformes Totais.

O SBA realizou correções relevantes na qualidade da água cinza bruta, pois, após tratamento, observou-se alto índice de redução de Turbidez (87,74%), Amônia (51,74%), Óleos e graxas (76,69%), Coliformes Totais (93%), *E. coli* (94%) e apresentou valores de pH próximos ao pH neutro (pH=7), mas houve aumento da cor aparente e STD de 36,04% e 56,19%, respectivamente.

Ao analisar os valores médios dos parâmetros da água cinza tratada para atender as recomendações de qualidade de água para uso na irrigação, observou-se que Fósforo e Amônia estão discordantes do

recomendado pela FAO, assim como a turbidez e *E. coli* estão conflitante com os padrões estabelecidos pela resolução do CONAMA, sendo *E. coli* discordante também dos valores estabelecido pelo PROSAB. Por outro lado, os valores de CE, STD, Nitrato, pH e RAS estão de acordo com os valores estabelecidos pela FAO, classificados com nenhum grau de restrição de uso ou leve a moderado. O valor de nitrato está concordante com o recomendado pela USEPA, assim como o Nitrito e OD estão de acordo com o estabelecido pelo CONAMA.

Diante dos fatores observados, recomenda-se a instalação de uma unidade de desinfecção com cloro da água cinza tratada antes de ser utilizada na irrigação e a limpeza frequente da caixa de gordura, além de, torna-se essencial, a regularização da prática do reúso de água através de normativas com diretrizes bem estabelecidas das concentrações aceitáveis de cada parâmetro de acordo com os múltiplos usos não-potáveis.

8 AGRADECIMENTOS

À agência de Fomento Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa de Pós-Graduação a nível de mestrado para a autora Laíssy Messias dos Santos.

9 REFERÊNCIAS

ABNT. **ABNT NBR 16783:** Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation. 23 ed. Washington, DC: APHA, 2017.

- AVSI. **Balanco Social 2022**. Salvador: Plus Comunicação: Carla Piaggio Design, 2022. Disponível em: <https://www.avsibrasil.org.br/wp-content/uploads/2024/03/balanco-social-avsi-2022-18-07-digital.pdf>. Acesso em: 22 abr. 2024.
- AYERS, R. S.; WESTCOT, D. W. **Water quality for agriculture**. 29. ed. rev. Roma: FAO, 1985.
- BARBOSA, M. T. **Sistema de reúso de águas cinzas domésticas para agricultura familiar**: o caso de comunidades rurais do estado do Ceará. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2019.
- BARROSO, A. A. F.; NASCIMENTO, F. J. S. C.; CHAVES, J. R.; LIMA, P. F.; SANTOS, H. O. R. Effluent quality in a family Biowater System for agricultural reuse in the Baixo Jaguaribe Region - Ceará. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Limoeiro do Norte, v. 17, n. 1, p. 39-53, 2023.
- BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. atual. e ampl. Viçosa: UFV, 2006.
- BORGES, L. Z. **Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2003.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF: Conselho Nacional do Meio Ambiente, 2005a. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtf_cda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 16 fev. 2023.
- BRASIL. **Lei n° 14.546, de 4 de abril de 2023**. Altera a Lei n° 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Lei de Saneamento Básico), para estabelecer medidas de prevenção a desperdícios, de aproveitamento das águas de chuva e de reúso não potável das águas cinzas. Brasília, DF: Presidência da República, 2023. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2023-2026/2023/lei/L14546.htm. Acesso em: 09 jan. 2024.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução n° 54, de 28 de novembro de 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2005b. Disponível em: http://conama.mma.gov.br/index.php?option=com_sisconama&task=documento.download&id=16675. Acesso em: 09 jan. 2023.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução n° 121, de 16 de dezembro de 2010**. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2010. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/ligislacao/Resolucoes-CNRH/Resolucao-CNRH%20121.pdf>. Acesso em: 18 set. 2024.

DAGNINO, R. **Tecnologia Social:** ferramenta para construir outra sociedade. 2. ed. e aum. Campinas: KOMEDI, 2010.

ERIKSSON, E.; AUFFARTH, K.; HENZE, M.; LEDIN, A. Characteristics of grey wastewater. **Urban Water**, Kongens Lyngby, v. 4, n. 1, p. 85-104, mar. 2002. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4). Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/257587685_Characteristics_of_Grey_Waste_water. Acesso em: 03 fev. 2023.

ESPLAR. Bioágua fornece água de produção para famílias no sertão de Crateús. **Educação para a Liberdade**, Fortaleza, ano 6, n. 6, p. 1-4, 2019. Disponível em: <https://www.calameo.com/read/004290891b262c2cbaf11>. Acesso em: 16 abr. 2024.

GOUVEIA, A. R. **Manual de construção do Sistema Bioágua:** Projeto Jucati Sustentável 2: Bioágua, Agroecologia e Nutrição no Agreste de Pernambuco. Recife: AVSI Brasil, 2018. Disponível em: <http://www.avsi brasil.org.br/wp-content/uploads/2021/03/Bioagua-Familiar-Manual-de-Construcao-do-Sistema.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2024.

GOUVEIA, A. R. **Manual de construção do Sistema Bioágua:** Projeto Pankaiwka Sustentável: Bioágua, Agroecologia e Nutrição por uma Aldeia Saudável. Recife: AVSI Brasil, 2017. Disponível em: https://transforma.fbb.org.br/storage/socialtecnologias/168/files/Manual%20Construcao%20Bioagua_18.01.2017_AB-IEG_FINAL.pdf. Acesso em: 17 abr. 2024.

GOUVEIA, A. R. **Manual de uso e manutenção do Sistema Bioágua** - Projeto Enel Compartilha Infraestrutura. Salvador: AVSI Brasil, 2019. Disponível em: [**SISTEMA-BIOAGUA%CC%81GUA-FAMILIAR.pdf**. Acesso em: 17 abr. 2024.](https://www.avsi brasil.org.br/wp-content/uploads/2020/12/GUIA-DO-</p></div><div data-bbox=)

GOUVEIA, A. R. **Manual de utilização do Sistema Bioágua Familiar:** Projeto de Segurança Alimentar para o Semiárido de Pernambuco. Recife: AVSI Brasil, 2015. Disponível em: https://www.fbb.org.br/images/Repositorio/07_2017/Manual%20Bioagua.pdf. Acesso em: 21 abr. 2024.

HE, C.; LIU, Z.; WU, J.; PAN, X.; FANG, Z.; LI, J.; BRYAN, B. A. Future global urban water scarcity and potential solutions. **Nature communications**, Beijing, v. 12, n. 4667, p. 1-11, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-021-25026-3>. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41467-021-25026-3>. Acesso em: 18 set. 2024.

IBV. **Manual Bioágua Familiar:** implementação e manejo do sistema. 1. ed. Fortaleza: IBV, 2018. Disponível em: https://issuu.com/eraldopaulino1/docs/manual_bio_gua_final_web. Acesso em: 21 abr. 2024.

LOPES, W. S.; LAMBAIS, G. R.; NERY, G. K. M.; MELLO, A. C. P.; MEDEIROS, S. S.; NERY, J. F. Qualidade das águas de fontes alternativas para usos múltiplos no semiárido paraibano. **Revista Geama**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 28-38, ago. 2021.

MENDONÇA, S. R.; MENDONÇA, L. C. **Sistemas sustentáveis de esgotos:** orientações técnicas para projeto e dimensionamento de redes coletoras, emissários, canais, estações elevatórias, tratamento e reúso na agricultura. 2. ed. São Paulo: Blücher, 2017.

NUNES, J. A. **Tratamento Biológico de águas residuárias.** 4. ed. rev. atual. e ampl. Aracaju: J. A. Nunes, 2014.

OTENG-PEPRAH, M.; ACHEAMPONG, M. A.; DEVRIES, N. K. Greywater Characteristics, Treatment Systems, Reuse Strategies and User Perception—a Review. **Water, Air, and Soil Pollution**, Maastricht, v. 229, n. 255, jul. 2018. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3909-8>. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-018-3909-8>. Acesso em: 03 fev. 2023.

PINTO, G. O.; SILVA JUNIOR, L. C. S.; ASSAD, D. B. N.; PEREIRA, S. H.; MELLO, L. C. B. B. Trends in global greywater reuse: a bibliometric analysis. **Water Science and Technology**, Rio de Janeiro, v. 84, n. 10/11, p. 3257-3276, 2021. DOI: <https://doi.org/10.2166/wst.2021.429>. Disponível em:

<https://iwaponline.com/wst/article/84/10-11/3257/84373/Trends-in-global-greywater-reuse-a-bibliometric>. Acesso em: 18 mar. 2024.

PROSAB. **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. 1. ed. Recife: ABES, 2006.

SANTIAGO, F.; JALFIM, F.; BLACKBURN, R.; DOMBROSKI, S.; MONTEIRO, L.; NANES, M; DIAS, I.; GURGEL, R.; OLIVEIRA, B.; OLIVEIRA, O.; SANTOS, W.; PINHEIRO, M. R.; SALES, F.; SILVA, J. **Manual de implantação e manejo do Sistema Bioágua Familiar**: Reúso de água cinza doméstica para produção de alimentos na agricultura familiar do semiárido brasileiro. 1. ed. Caraúbas: ATOS, 2015.

SANTOS, V. C. **Implantação de dois sistemas de reúso de águas cinzas para fomento de quintais produtivos no semiárido do Nordeste brasileiro**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Agrônoma) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2020.

SERHMA. **Atlas Digital sobre Recursos Hídricos de Sergipe**. Aracaju: SERDUBS, 2020.

SILVA, E. A. A. D.; SILVA, F. E.; SILVA, M. E. L. D.; ASSUNÇÃO, M. D. S. L. Eficiência do Sistema Bioágua no Tratamento de Águas Cinzas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DOS ENGENHEIROS SEM FRONTEIRAS, 5., Natal, 2018. **Anais [...]**. Natal: ESF Brasil, 2018. p. 1-9.

USEPA. **2012 Guidelines for Water Reuse**. Washington, DC: EPA, 2012. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2019-08/documents/2012-guidelines-water-reuse.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2023.

World Health Organization. **Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater**: Excreta and greywater use in agriculture. Geneva: WHO, 2006. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/9241546859>. Acesso em: 01 mar. 2023.

World Health Organization. **Reuse of effluents**: methods of wastewater treatment and health safeguards. Geneva: WHO, 1973. (Technical report series, n. 517).