



WETLANDS TRATANDO EFLUENTES NO TERRITÓRIO SERTÃO BAIANO: UM ESTUDO EM UNIDADE DOMICILIAR E UNIDADE ESCOLAR

Fábio José de Matos Barbosa

Professor da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro - BA, Brasil
fabio.barbosa@univasf.edu.br

Aricélia Antunes do Nascimento Vieira

Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro - BA, Brasil
aricelia.vieira@discente.univasf.edu.br

Guilherme Henrique de Lima Freitas

Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro - BA, Brasil
guilherme.henriquefreitas@discente.univasf.edu.br

Miriam Cleide Cavalcante de Amorim

Professora da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro - BA, Brasil
miriam.cleide@univasf.edu.br

Resumo: O presente trabalho avaliou a eficiência de sistemas de tratamento de esgoto do tipo wetlands construído horizontal de fluxo subsuperficial em áreas rurais do semiárido baiano, especificamente no Sertão do São Francisco. Foram analisados dois sistemas: o primeiro, que trata efluente doméstico total (ST1), está instalado nas dependências do Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (IRPAA), em Juazeiro, BA. O outro está localizado na Escola Família Agrícola, em Sobradinho, BA, e trata águas cinzas (ST2). Foram realizadas três campanhas para analisar parâmetros físico-químicos, nutricionais e microbiológicos, a fim de verificar a eficiência de remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos, além de avaliar a biodegradabilidade do esgoto. Os sistemas demonstraram alta eficácia na remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos, proporcionando uma solução sustentável para o saneamento em comunidades rurais.

.

Palavras-chave: saneamento rural; esgoto doméstico; águas cinza; tratamento

1. Introdução

A O saneamento básico é um conjunto essencial de serviços e ações destinados a garantir à população o acesso a água potável, esgotamento sanitário, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, além do manejo de resíduos sólidos (BRASIL, 2020).

A coleta, tratamento e destinação final adequada dos esgotos são fundamentais para reduzir a propagação de doenças, preservar a qualidade dos corpos hídricos e da biodiversidade, e melhorar a qualidade de vida das comunidades. Isto se dá, principalmente pela remoção de



patógenos, matéria orgânica e de nutrientes responsáveis pela disseminação de doenças e do processo de eutrofização dos corpos hídricos (Alegbeleye et al., 2018)

De acordo com o Censo Demográfico 2022, aproximadamente 24,3% da população brasileira reside em domicílios sem um sistema adequado de esgotamento sanitário (IBGE, 2024). No Nordeste, a situação é ainda mais preocupante, com apenas 58,1% da população tendo acesso a um sistema de esgotamento sanitário adequado. Apesar da coleta de esgoto na região ser significativa, uma grande parte ainda não é tratada, evidenciando a necessidade de novas estações de tratamento (Assanti et al., 2024).

A falta de acesso a sistemas de saneamento convencionais é particularmente desafiadora nas comunidades rurais, onde os métodos tradicionais muitas vezes não são viáveis. Além disso, a escassez hídrica é um problema recorrente da região semiárida, o que torna crucial o desenvolvimento de tecnologias que garantam o tratamento dos efluentes, bem como o reuso dessas águas tratadas para fins agrícolas (Texeira, 2018).

Nesse contexto, os wetlands construídos se destacam como uma solução eficaz para o tratamento descentralizado de efluentes. Esses sistemas simulam processos naturais de transformação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes, semelhantes aos encontrados em pântanos e áreas alagadas (Sezerino et al., 2018). Além de serem de baixo custo de instalação e manutenção, os wetlands construídos oferecem simplicidade operacional e capacidade de proporcionar um tratamento terciário eficiente, especialmente quando integrados a sistemas de tanque séptico e filtro anaeróbio (Rodrigues, 2012).

O Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (IRPAA), com sede em Juazeiro-BA, realiza ações e projetos voltados para a melhoria da qualidade de vida de comunidades rurais na região do Sertão do São Francisco. Dentre essas ações, está a implantação de sistemas de tratamento de esgoto doméstico de baixo custo.

Deste modo, o presente trabalho analisou dois sistemas de tratamento de efluentes domésticos do tipo wetlands construídos, instalados nesta região e tem como objetivo analisar a eficiência destes sistemas de tratamento na remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos. Além disso, busca-se avaliar a biodegradabilidade e a tratabilidade dos efluentes tratados, fornecendo informações sobre a aplicação dos wetlands construídos no Semiárido baiano e contribuindo para o aprimoramento das práticas de tratamento de efluentes na região e desenvolvimento do saneamento básico rural.

2. Metodologia

2.1. Local de estudo

O estudo foi desenvolvido em duas localidades distintas no Semiárido nordestino, situadas no interior e ao norte do estado da Bahia, na região Submédio do Vale do São Francisco. O Sistema de Tratamento 1 (ST1), que trata esgotos provenientes de uma residência, está localizado em uma área do Centro de Formação Dom José Rodrigues, pertencente ao Instituto Regional da Pequena Agropecuária (IRPAA), no Projeto Tourão, município de Juazeiro – BA cuja coordenadas geográficas são (9°26'48.8"S 40°25'16.3"W) (Figura 1).

Já Sistema de Tratamento 2 (ST2), que trata águas cinzas oriundas de uma unidade escolar, está localizado no município de Sobradinho – BA, nas coordenadas geográficas (9°28'55.8"S 40°46'18.9"W) (Figura 1).

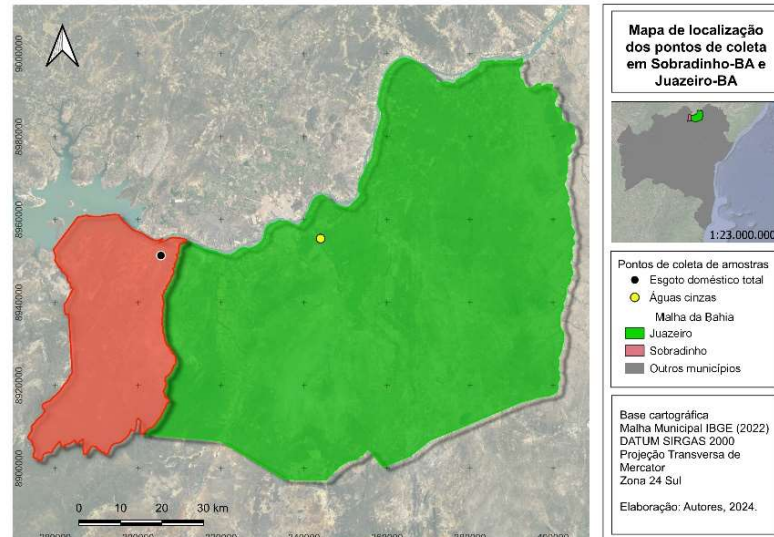


Figura 1. Mapa de localização dos sistemas de tratamento

Fonte: Autores, 2024.

2.2. Caracterização dos sistemas de tratamento avaliados

No presente estudo foram avaliados dois diferentes sistemas de tratamento de efluentes domésticos.

O Sistema de Tratamento 1 (ST1) (Figura 2) destina-se a tratar como efluente todo o esgoto doméstico ou águas negras oriundo de uma residência unifamiliar. As unidades operacionais que compõem este sistema são: 1. Caixa de gordura; 2. Fossa de séptica; 3. Filtro biológico; 4. Wetlands construído de escoamento horizontal subsuperficial e 5. Tanque de armazenamento.

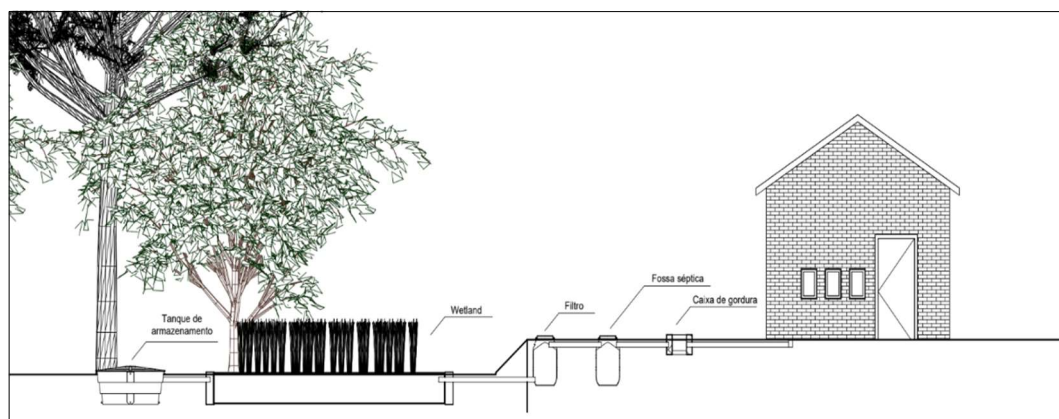


Figura 2. Desenho esquemático do Sistema de Tratamento 1

Fonte: Autores, 2024.

O Sistema de Tratamento 2 (figura 3) destina-se a tratar como efluentes águas cinzas, ou seja, de pias e chuveiros. As unidades operacionais que compõem este sistema são: 1. Caixa de gordura; 2. Caixa de passagem; 3. Wetland construído de escoamento horizontal subsuperficial e 4. Tanque de armazenamento. Em ambos os casos foi considerado para dimensionamento do wetlands, 2.00m² de área do Wetland por pessoa, levando-se em conta um consumo médio 100 L/ pessoa/dia.

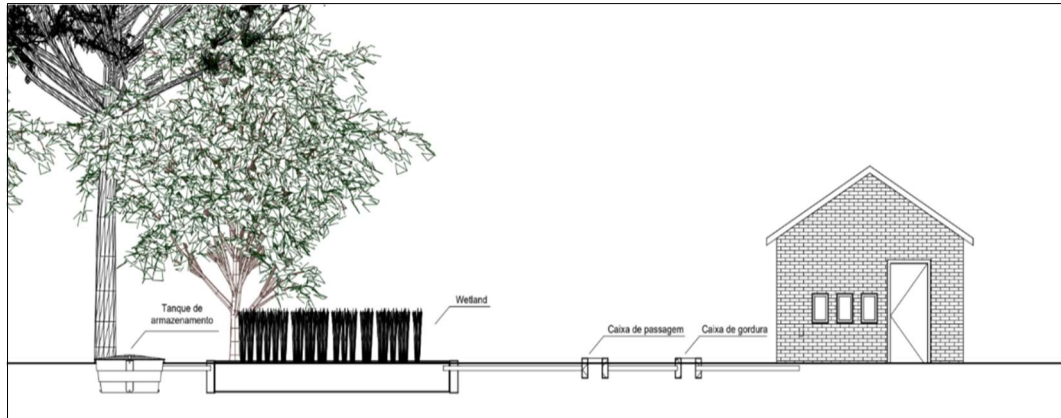


Figura 3. Desenho esquemático do Sistema de Tratamento 2

Fonte: Autores, 2024.

De forma que, o ST1 difere do ST2 por apresentar além do wetlands construído uma fossa séptica seguida de um filtro biológico anaeróbico e tratar esgoto doméstico, enquanto o ST2 trata águas cinza.

2.3. Monitoramento dos sistemas de tratamento

Para monitorar a operação dos sistemas foram realizadas coletas de amostras de efluentes na entrada e saída de cada um dos sistemas de tratamento. Para monitoramento do ST1 (tratando esgoto doméstico) e do ST2 (águas cinzas) foi realizado em três campanhas, com um intervalo de três meses entre a primeira e segunda campanha, e um intervalo de 7 meses entre a segunda e terceira campanha para o ST1, e um intervalo de três meses entre a primeira e segunda campanha, e um intervalo de 5 meses da segunda a terceira campanha para o ST2.

Como parâmetros de monitoramento foram realizadas análises físico-químicos e microbiológicas que incluíram: Turbidez (Tur), pH, Cor, Cloretos (CL), Condutividade elétrica (CE), Sólidos Totais (ST), Sólidos Totais Dissolvidos (STD), Sólidos Totais em Suspensão (STS), Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅), Fósforo Total (P), Nitrogênio Amoniacal (N) e Coliformes Fecais (*E. coli*).

Todos os procedimentos de coleta, transporte e análise seguiram os protocolos metodológicos do Standard Methods for the Examination Water and Wastewater (APHA 2023). As análises foram realizadas em triplicata, no Laboratório de Engenharia Ambiental (LEA) da Universidade Federal do Vale do São Francisco no Campus Juazeiro-BA.

2.4 Procedimentos para o estudo comparativo dos sistemas

Para o estudo comparativo determinou-se a eficiência de cada sistema, levando-se em consideração o tipo de sistema e o tipo de efluente. Para determinar a eficiência de ambos os sistemas de tratamento, foram considerados a remoção da matéria orgânica, tendo como indicadores indiretos a DBO₅ e a DQO. A remoção de nutrientes, por meio do nitrogênio amoniacal e do fósforo total. Além da remoção de patógenos por meio de Coliformes Fecais (*E. coli*)

2.5. Avaliação da tratabilidade e biodegradabilidade dos efluentes domésticos estudados.



Para avaliação da biodegradabilidade do esgoto doméstico gerado na unidade avaliada, foi adotado o princípio da relação da carga orgânica e inorgânica (DQO/DBO₅), desenvolvido por Von Sperling (2005), onde, dependendo da grandeza dos resultados o efluente é caracterizado entre facilmente degradáveis, ou resistentes à degradação biológica (Tabela 1), e a partir dessa característica verificar o tratamento adequado. Por fim, os dados foram submetidos à estatística descritiva básica por meio do software computacional Microsoft Excel versão 365.

Tabela 1. Biodegradabilidade e tratabilidade em função da magnitude da relação DQO/DBO₅

DQO/DBO ₅	Tratabilidade
Baixa (<2,5)	Fração biodegradável elevada Indicação para tratamento biológico
Intermediária (entre 2,5 e 3,5)	Fração biodegradável não elevada Verificar viabilidade do tratamento biológico
Alta (> cerca de 3,5 ou 4,0)	Fração inerte (não biodegradável) elevada. Indicação para tratamento físico-químico

Fonte: Von Sperling, 2005.

3. Resultados

3.1. Caracterização dos efluentes nos sistemas.

Os resultados analíticos para as amostras de esgoto doméstico, na entrada e saída do Wetlands encontra-se na Tabela 2.

Tabela 2. Média e desvio padrão dos parâmetros analisados das três coletas de amostras de esgoto domiciliar do ST1.

Parâmetros	Entrada	Saída
Matéria orgânica		
DBO ₅ (mg O ₂ L ⁻¹)	842 ± 510*	113 ± 76*
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	1598 ± 478	510 ± 46
Nutrientes		
Nitrogênio amoniacal (mgN-NH ₃ L ⁻¹)	165 ± 44	73 ± 36
Fósforo (mg L ⁻¹)	4 ± 6	6 ± 9



Workshop Internacional
**SUSTENTARE
& WIPIS 2024**
Sustentabilidade, Indicadores
e Gestão de Recursos Hídricos
www.sustentarewipis.com.br

18 a 22
de novembro
Transmissão online • Evento gratuito
Realização


Apoio Institucional



Patógenos		
<i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	5,3×10 ¹⁰ ± 9,2×10 ¹⁰	1,5 ×10 ⁷ ± 2,7×10 ⁷
Físico – Químicas		
Cloretos	162 ± 19	131 ± 13
pH	7,21 ± 0,09	8,11 ± 0,39
Cor (uH)	386 ± 255	325 ± 184
Turbidez (NTU)	515 ± 392	35 ± 21
Condutividade elétrica (µS cm ⁻¹)	1080 ± 1018	1148 ± 726
ST (mg L ⁻¹)	1362 ± 510	1296 ± 238
STF (mg L ⁻¹)	602 ± 92	480 ± 308
STV (mg L ⁻¹)	760 ± 316	220 ± 115

*Média e desvio padrão para as três campanhas de coletas.

Fonte: Autores, 2024

A Tabela 3 apresenta os resultados analíticos para a água cinza, na entrada e saída do Wetlands.

Tabela 3. Média e desvio padrão dos parâmetros analisados das três coletas de amostras de águas cinzas do ST2.

Parâmetros	Entrada	Saída
Matéria orgânica		
DBO ₅ (mg O ₂ L ⁻¹)	637 ± 556*	32 ± 5*
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	1317 ± 571	99 ± 44
Nutrientes		
Nitrogênio amoniacal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	57 ± 73	35 ± 10



Fósforo (mg P L ⁻¹)	4 ± 4	6 ± 5
Patógenos		
<i>E. coli</i> (NMP 100 mL ⁻¹)	2,8 × 10 ⁷ ± 4,6 × 10 ⁷	2,6 × 10 ⁷ ± 4,5 × 10 ⁷
Físico – Químicas		
Cloretos	198 ± 47	239 ± 97
pH	5,95 ± 0,5	6,97 ± 0,4
Cor (uH)	185 ± 67	147 ± 24
Turbidez (NTU)	537 ± 173	7 ± 2
Condutividade elétrica (μS/cm ⁻¹)	990 ± 733	1251 ± 449
ST (mg L ⁻¹)	2721 ± 2163	756 ± 229
STF (mg L ⁻¹)	499 ± 270	618 ± 217
STV (mg L ⁻¹)	2221 ± 2408	138 ± 53

*Média e desvio padrão para as três campanhas de coletas.

Fonte: Autores, 2024

3.2. Eficiência dos sistemas quanto a remoção de matéria orgânica

A partir dos resultados obtidos na Tabela 4, é possível observar que o ST1 apresentou uma boa eficiência na remoção de matéria orgânica. O efluente na entrada do wetlands, que é precedido de fossa séptica e filtro biológico, apresentou em média uma DBO₅ de 842 mg O₂.L⁻¹ na entrada do sistema wetlands. Após passar pelo tratamento do wetlands, houve uma redução significativa para uma média de 113 mg O₂.L⁻¹ que representa uma remoção média de 78,23%. Esses resultados foram semelhantes aos valores obtidos por Mayer et al. (2021), onde houve uma remoção de 74% de DBO₅, quando analisaram um sistema de tratamento de esgoto doméstico rural para fins de reuso agrícola.

Quanto a DQO houve uma variação média de 1598 mg O₂.L⁻¹ na entrada wetlands para 510 mg O₂.L⁻¹ na saída do wetlands, resultando assim em uma eficiência média de 65 %. Martins e Marques (2021) ao utilizarem um sistema de tratamento composto por tanque séptico, wetland aerado horizontal subsuperficial seguido de wetland horizontal subsuperficial, alcançou resultados semelhantes na remoção de DQO de 53% na saída do efluente tratado do wetland horizontal subsuperficial. Já o wetland aerado horizontal subsuperficial houve uma remoção de 87%, pois a aeração nesse tipo de sistema melhora a remoção de DQO.



O ST2 demonstrou uma alta eficiência na remoção de matéria orgânica. A concentração média de DBO_5 na entrada do wetland variou de $637 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ para $38 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ na saída do wetland, o que indica uma remoção média de 92%. Em relação à DQO, a concentração média na entrada do wetland foi de $1317 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$, enquanto na saída, a concentração final da água cinza tratada foi de $99 \text{ mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}$ indicando uma eficiência de remoção de 92%. Rizzon (2020) encontrou resultados de remoção similares, com uma eficiência de remoção de 88%.

Tabela 4. Eficiência de remoção dos sistemas de tratamento avaliados

Parâmetros	Sistema 1 (%)	Sistema 2 (%)
$\text{DBO}_5 \text{ (mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}\text{)}$	78	92
$\text{DQO (mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}\text{)}$	65	92
$\text{Nitrogênio amoniacal (mgN-NH}_3\cdot\text{L}^{-1}\text{)}$	57	-
$\text{Fósforo (mg P L}^{-1}\text{)}$	14	-
$\text{Coliformes fecais (NMP/100mL)}$	70	59
Turbidez	83	98

Fonte: Autores, 2024

Na Figura 4, pode-se observar um comparativo da eficiência de remoção de DQO dos dois sistemas de tratamento analisados. No ST1, alcançou-se uma remoção máxima de 77% na primeira campanha de monitoramento. Enquanto no ST2, a eficiência máxima de remoção ocorreu na segunda campanha, atingindo 94%.

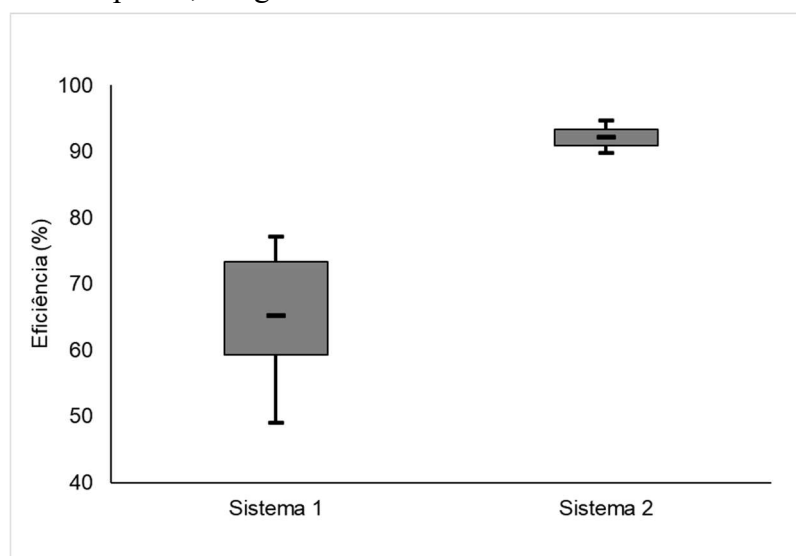


Figura 4. Gráfico tipo boxplot, destacando as eficiências de remoção de DQO dos Sistemas de Tratamento.

Fonte: Autores, 2024.



Esses resultados destacam as diferenças de desempenho entre os dois sistemas de tratamento, provavelmente devido ao tipo de efluente tratado. O ST1 que trata esgoto doméstico, contém uma elevada quantidade de matéria orgânica oriundas de resíduos como fezes humanas. Por outro lado, o ST2, que trata águas cinzas, tende a ter uma concentração menor de matéria orgânica, dependendo dos produtos químicos domésticos utilizados e do tipo de atividade realizada na residência.

3.3. Eficiência dos sistemas quanto aos aspectos de nutrientes

A concentração média de Nitrogênio amoniacal ao longo do período do ST1 avaliado, variou de $165 \text{ mgN-NH}_3 \text{ L}^{-1}$ na entrada do wetland para $73 \text{ mgN-NH}_3 \text{ L}^{-1}$ efluente tratado, removendo em média 57%. Amaral et al (2021) ao utilizarem um conjunto de fossa séptica, filtro biológico e wetland construído de fluxo horizontal, alcançou resultados superiores, alcançando 90% de remoção.

Em relação ao ST2, não houve remoção em termos percentuais de nitrogênio amoniacal ao se analisar o resultado global das três campanhas. A concentração de nitrogênio amoniacal nas duas primeiras campanhas na saída do wetland foi superior à da entrada, no entanto, esse comportamento mudou na terceira campanha, variando de $140 \text{ mgN-NH}_3 \text{ L}^{-1}$ na entrada para $24 \text{ mgN-NH}_3 \text{ L}^{-1}$ na saída do wetland, o que representa uma redução de 83% de nitrogênio no efluente final tratado em relação ao efluente não tratado.

Essas variações podem ser atribuídas a alguns fatores, conforme Mendonça (2015) a baixa concentração de oxigênio dissolvido no interior do meio filtrante, o tempo de operação inicialmente das duas primeiras campanhas podem ter sido insuficientes para que as raízes das macrófitas atingissem todo o leito do sistema, o que limita a disponibilidade de oxigênio, além de menor capacidade de assimilação do nitrogênio pelas plantas ao decorrer do seu crescimento. À medida que o sistema se estabilizou ao longo do tempo os processos biológicos, como a nitrificação e a desnitrificação se tornaram mais eficientes, o que explica o comportamento da terceira campanha.

Conforme Mota e von Sperling (2009), sistemas wetlands subsuperficiais, a remoção de nitrogênio ocorre através de processos biológicos como a nitrificação, desnitrificação e assimilação pelas plantas. Em wetlands como os estudados neste trabalho, o ambiente é predominantemente anaeróbio, o que limita a quantidade de oxigênio disponível no leito. Nessa configuração, as plantas desempenham um papel crucial, liberando oxigênio por meio de suas raízes para a rizosfera, onde se formam microzonas aeróbias. Essas microzonas são essenciais para a nitrificação, que converte amônia em nitrato, um passo crucial para a posterior desnitrificação. Durante a desnitrificação, o nitrato é reduzido a nitrogênio gasoso nas zonas anaeróbias, permitindo a remoção do nitrogênio do sistema.

Embora a assimilação pelas plantas não seja o principal mecanismo de remoção de nitrogênio, Sezerino et al. (2018) relatam que aproximadamente 10% do total de nitrogênio removido em wetlands construídos pode ser atribuído à fitoextração pelas macrófitas.

Quanto ao fósforo o ST1 teve uma remoção média de 14%, destacando sua remoção máxima de 62% na primeira campanha. O ST2, não houve remoção para nenhuma das três campanhas analisadas. Esses resultados são inferiores aos encontrado por Mendonça (2015), que analisou um sistema de tratamento composto de Tanque séptico e Wetlands híbrida de fluxo horizontal e vertical, onde alcançou uma remoção média de 60%.



Os principais mecanismos para remoção de fósforo em wetlands são absorção vegetal e microbiana, precipitação química e sedimentação. Às vezes alguns desses processos não são ativos. Isto acaba levando a uma remoção limitada, comparando-se a eficiência de remoção de nitrogênio (Dotro et al. 2017).

3.4. Eficiência de remoção de patógenos

Analisando-se os valores dos resultados de parâmetros microbiológicos (Tabela 4), nota-se que o ST1 apresentou a maior eficiência de remoção de *E. coli* quando comparado ao ST2, os quais respectivamente demonstraram eficiências de 70 e 59%.

Os sistemas wetlands oferecem uma combinação adequada de mecanismos físicos, químicos e biológicos para remoção de patógenos, esses incluem a agregação e retenção em biofilmes, morte natural, predação e competição por nutrientes e oligoelementos limitantes. Sendo assim, o tratamento depende do tipo do sistema wetland, das condições operacionais e das características das águas residuárias (Dotro et al., 2017).

Em estudos de Calijuri et al. (2009), utilizando wetlands construídos de fluxo horizontal subsuperficial para o tratamento de esgoto, obtiveram eficiência de remoção de 99,72 a 99,99%, de *E. coli*, valores estes que são similares aos encontrados no presente artigo tanto para o ST1 quanto ST2.

3.5. Tratabilidade e biodegradabilidade

De acordo com o estudo da biodegradabilidade, os valores dos resultados da relação DQO/DBO₅ de amostras do esgoto doméstico e água cinza encontram-se na Tabela 5. O esgoto doméstico apresentou uma relação DQO/DBO₅ média de 2,16, ao passo que a água cinza resultou em um valor médio de 1,68 (Tabela 5). De acordo com a Tabela 2, valores da relação DQO/DBO₅ menores que 2,5 se caracterizam por uma fração biodegradável alta, indicando um tratamento biológico. Já valores maiores que 3,5 ou 4,0 indicam uma alta fração não biodegradável.

Especificamente sobre o esgoto doméstico (ST1), é possível dizer que o valor médio encontrado neste trabalho foi acima do encontrado, em relação a relação DQO/DBO₅ de amostra de esgoto doméstico bruto realizada em duas unidades de estudo por Scaratti et al. (2014), as quais resultaram em 1,25 e 1,34. Ainda, Silva e Neto (2022) obtiveram um valor médio de DQO/DBO₅ de 1,19, apresentando então uma fração biodegradável maior quanto à característica do esgoto doméstico analisado no presente artigo.

Por fim, sobre as águas cinzas (ST2) isto é, águas residuárias do uso doméstico (banho e piaas excluindo-se águas negras), os resultados foram semelhantes aos valores médios encontrados por Dombroski et al. (2019) (entre 1,60 e 1,90), destacando que essas águas cinzas brutas podem ser facilmente tratadas de forma biológica, viabilizando seu reuso.

Nesse sentido, as características de águas cinzas podem variar de acordo com o tipo de uso. Isto é, uso demasiado ou reduzido de detergentes, surfactantes, entre outros produtos que podem afetar os parâmetros avaliados. Por exemplo, Silva et al. (2017) encontraram valor distinto de DQO/DBO₅ (média de 10,3), portanto, sendo alta fração inerte e indicando um tratamento físico-químico.

Tabela 5. Valores médios da relação DQO/DBO₅ de amostras de esgoto doméstico e águas cinzas seguidos dos máximos e mínimos.



ST1	ST2
2,16	1,68
(2,74 - 1,46)	(1,85 - 1,35)

Fonte: Autores, 2024.

Os sistemas wetlands são uma tecnologia viável e eficiente para o tratamento descentralizado de efluentes, especialmente em áreas rurais, onde o acesso a métodos de saneamento convencionais é mais limitado. No semiárido nordestino, onde a escassez de recursos hídricos é uma realidade, o reuso de águas residuárias torna-se uma necessidade, contribuindo para a preservação dos recursos disponíveis e para a segurança hídrica local.

4. Conclusões

Com base no estudo realizado, os sistemas de tratamento do tipo wetlands construído demonstraram um bom desenho na remoção de poluentes. Para o ST1, houve uma remoção significativa de matéria orgânica e patógenos, e em menor grau nutrientes. Além de uma elevada biodegradabilidade do esgoto expressa pela relação DQO/DBO₅, evidenciou a adequação do esgoto domiciliar rural para tratamentos biológicos.

Quanto ao ST2, apresentou uma maior remoção de matéria orgânica em comparação ao ST1, mostrou-se também eficaz na redução de patógenos, porém em relação aos nutrientes não houve uma remoção expressiva. Quanto a sua biodegradabilidade, demonstrou que as águas cinzas também podem ser submetidas ao tratamento biológico.

Portanto, isto indica que os wetlands construídos são uma tecnologia viável e eficiente para o tratamento descentralizado de esgoto, podendo contribuir para o saneamento básico rural, devendo estudos posteriores serem continuados para otimizar a remoção de nutrientes e elevar a eficiência dos sistemas.

6. Agradecimentos

Ao Programa de Educação Tutorial-MEC, ao FNDE pelo incentivo financeiro, à UNIVASF pelo apoio institucional e ao IRPAA.

7. Referências bibliográficas

ALEGBELEYE, O. O.; SINGLETON, I.; SANT'ANA, A. S. Sources and contamination routes of microbial pathogens to fresh produce during field cultivation: A review. *Food Microbiology*, v. 73, p. 177-208, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0740002017310158?via%3Dihub>. Acesso em: 31 maio 2024.

AMARAL, B. M.; ALCÂNTARA, D. P.; FERREIRA, E. de M.; CRUVINEL, K. A. da S. Eficiência na remoção de poluentes por sistema alagado híbrido com *Hedychium coronarium* J. König: uma solução para comunidades de baixa renda. **Revista Monografias Ambientais**, v. 1, p. e6, 2021.



Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/remoa/article/view/66092>. Acesso em: 20 mai. 2024.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 edição, Washington, APHA/AWWA/WEF, 2012.

ASSANTI, I. B. dos R.; ALMEIDA, T. C.; MOURA, P. G.; HANDAM, N. B.; SALLES, M. J.; SOTERO MARTINS, A. Correlação do potencial produtor de água de reúso associado ao déficit na região nordeste do Brasil. In: HANDAM, N. B.; SOTERO MARTINS, A. Saneamento, Saúde e Meio Ambiente - Volume 2. Belo Horizonte-MG: Editora Poisson, 2024. cap. 12, p. 168-191.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Novo Marco Legal do Saneamento Básico. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, ano 155, n. 135, p. 1-8, 16 jul. 2020.

CALIJURI, M. L.; BASTOS, R. K. X.; MAGALHÃES, T. de B.; CAPELETE, B. C.; DIAS, E. H. O. Tratamento de esgotos sanitários em sistemas reatores UASB/wetlands construídas de fluxo horizontal: eficiência e estabilidade de remoção de matéria orgânica, sólidos, nutrientes e coliformes. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 14, p. 421-430, 2009.

Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/hjNVYxRJGKYr87cv3KTvhrb/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 25 mai. 2024.

DOMBROSKI, S. A. G. *et al.* XII-026-SISTEMA SIMPLIFICADO PARA TRATAMENTO DE ÁGUA CINZA EM ESCALA FAMILIAR. 30º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Natal-RN. Anais [...]. [s. n.], 2019. 9 p.

DOTRO, G.; LANGERGRABER, G.; MOLLE, P.; NIVALA, J.; PUIGAGUT, J.; STEIN, O.; VON SPERLING, M. Biological Wastewater Treatment Series: Treatment Wetlands. Volume 7. 2017

Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada (IRPAA). **Sistemas de tratamento de esgoto e reúso agrícola: uma contribuição ao saneamento básico rural**. Juazeiro-BA, 2023. Disponível em:

<https://u.pcloud.link/publink/show?code=XZpwsPVZNYR5RH52Cq4cpBdtVVcbFSj8TUBy>. Acesso em: 18 abr. 2024.

MARTINS, L. A.; MARQUES, R. F. P. V.. Tratamento de efluente sanitário pela associação de tanque séptico e wetland construído aerado e não aerado. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.4, p. 489-503, 2021. Disponível:

<https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2021.004.0>. Acesso em: 30 abr. 2024.

MAYER, M. C.; MEDEIROS, S. de S.; BATISTA, M. M.; BARBOSA, R. A.; LAMBAIS, G. R.; SANTOS, S. L. dos.; HAANDEL, A. V. Tratamento de esgoto na zona rural visando ao reúso agrícola no semiárido brasileiro. **Revista DAE**, v. 69, n. 229, p. 104-114, 2021.

Disponível em: https://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_229_n_1946.pdf. Acesso em: 25 mai. 2024.

MENDONÇA, A. A. J. Avaliação de um sistema descentralizado de tratamento de esgotos domésticos em escala real composto por tanque séptico e wetland construída híbrida – São



Paulo, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa Pós-Graduação em Saúde Pública da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2015.

MOTA, F.S.B.; VON SPERLING, M. Nutrientes de esgotos sanitários: utilização e remoção. Programa de pesquisa em saneamento básico (PROSAB), Rio de Janeiro, 2009.

RODRIGUES, E. B. Tratamento de esgoto por zona de raízes: experiências vivenciadas numa escola rural no município de Campos Novos/SC. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

SCARATTI, D.; BOLZON, A. L.; UNGERICHT, J. C.; SCARATTI, G. Influência das condições hidroclimáticas no tratamento de esgoto sanitário por lagoas de estabilização de esgoto. **Evidência**, v. 14, n. 2, 2014. Disponível em:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8814599>. Acesso em: 24 abr. 2024.

SEZERINO, P. H. ROUSSO, B. Z.; PELISSARI, C.; SANTOS, M. O.; FREITAS, M. N.; FECHINE, V. Y.; LOPES, A. M. B. Wetlands Construídos aplicados no tratamento de esgoto sanitário. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA), 2018.

SILVA, L. H. de O. *et al.* CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE ÁGUAS CINZAS ORIUNDAS DA MÁQUINA DE LAVAR ROUPAS, COM VISTAS AO REUSO NÃO POTÁVEL. XXII SBRH - Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2019, Florianópolis-SC. Anais [...]. [s. n.], 2017. 8 p.

SILVA, A. C. R. da; NETTO, A. P. O. Caracterização dos efluentes tratados em estações compactas para reúso direto não potável urbano. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, [S. l.], v. 11, n. 1, p. 178–197, 2022. Disponível em:

https://portaldeperiodicos.animaeducacao.com.br/index.php/gestao_ambiental/article/view/9063. Acesso em: 25 abr. 2024.

TEXEIRA, J. P. Construção e aplicabilidade do sistema wetland construído de fluxo subsuperficial horizontal no tratamento de água cinza para reúso não potável. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade de Água e ao Tratamento de Esgotos**. 3 ed. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2005.