



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO E
MEIO AMBIENTE

GHEIZON RAUNNY SILVA

Orientadora: Maria Cristina Crispim
Coorientadora: Marília Gabriela dos Santos Cavalcanti

Tratamento ecológico de esgoto doméstico: TEWetland um sistema inovador com benefícios sociais e ambientais, com produção de água para reuso

JOAO PESSOA

2024

GHEIZON RAUNNY SILVA

Tratamento ecológico de esgoto doméstico: TEWetland um sistema inovador com benefícios sociais e ambientais, com produção de água para reuso

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA da Universidade Federal da Paraíba em cumprimento as exigências para obtenção do Grau de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Maria Cristina Crispim
Coorientadora: Marília Gabriela dos Santos Cavalcanti

JOÃO PESSOA

2024

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S586t Silva, Gheizon Raunny.

Tratamento ecológico de esgoto doméstico: TEWetland
um sistema inovador com benefícios sociais e
ambientais, com produção de água para reuso / Gheizon
Raunny Silva. - João Pessoa, 2024.

90f. : il.

Orientação: Maria Cristina B. Crispim da Silva.

Coorientação: Marília Gabriela dos S. Cavalcanti.

Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN.

1. Sustentabilidade. 2. Biotratamento. 3. Pequena
central de tratamento ecológico de esgoto. I. Silva,
Maria Cristina B. Crispim da. II. Cavalcanti, Marília
Gabriela dos Santos. III. Título.

UFPB/BC

CDU 628.3(043)


Gheizon Raunny Silva

Tratamento ecológico de esgoto doméstico: TEWetland um sistema inovador com benefícios sociais e ambientais, com produção de água para reuso.


Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA – da Universidade Federal da Paraíba, como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Trabalho Aprovado. João Pessoa, 08 de março de 2024.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **MARIA CRISTINA BASILIO CRISPIM DA SILVA**
Data: 14/06/2024 16:08:55-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Maria Cristina Basilio Crispim da Silva
Universidade Federal da Paraíba
(orientadora)

Documento assinado digitalmente
 **TANIA NUNES DA SILVA**
Data: 14/06/2024 20:09:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Tania Nunes da Silva
Universidade Federal da Paraíba
(membro interno)

Assinado por: **Ana Cristina Pontes de Barros Rodrigues**
Num. de Identificação: 09847363
Data: 2024.07.15 10:04:52+01'00'



Ana Cristina Rodrigues
Escola Superior Agrária – Instituto Politécnico de Viana do Castelo – Portugal
(membro externo)

Agradecimentos

Gostaria primeiramente de agradecer a Deus, por ter me dado tantas oportunidades de crescimento e aprimoramento, tanto como pessoa como profissional.

Sou grato à minha família, principalmente aos meus pais Maria Gizélia e Genival José, minha irmã, Maria Glauciely, meu cunhado André Felipe, e minha sobrinha Anna Letícia, pessoas as quais estão comigo e que sempre terão o meu apoio

Agradeço à coordenação do programa, a todo o corpo docente, e em especial à minha orientadora Cristina Crispim, e Coorientadora Marília Gabriela. Aos companheiros (as) de turma, especialmente minha amiga Samantha Cristina, em que ao longo desses dois anos, nos fizemos presentes na vida um do outro diante dos desafios.

Ao longo do projeto tive que contar com parcerias em que aprendi muito e agradeço. Entre estas pessoas, a equipe gestora do município de Ingá-PB, as servidoras da FUNASA/PB, Instituto Acunã, a estudante de graduação em Engenharia Ambiental Karen Fonseca, e o amigo Randolpho Marinho.

Quero agradecer aos meus queridos amigos e amigas, que compartilham suas vidas comigo no dia a dia.

Por fim, quero dedicar este trabalho a todos que vieram antes de mim, e aos que estão por vir e dispostos a construir em prol do bem coletivo.

RESUMO

Investir em novas tecnologias e práticas, para o tratamento de esgoto de forma descentralizada, faz-se necessário, seja tanto na modalidade coletiva quanto unifamiliar. O encurtamento da distância da fonte geradora para o tratamento, além de economizar recursos, matéria prima, e energia, evita de transpor a poluição local para outras áreas do território, que poderão ser impactadas negativamente e reforçar injustiças ambientais para populações mais fragilizadas. Algumas regiões do país, como o do semiárido exigem mais esforços dos gestores, a fim de preservar a qualidade da água e maximizar o seu aproveitamento, em frente à escassez. Diante dessa problemática espacial e temporal de pouca disponibilidade hídrica em quantidade e qualidade de algumas regiões, e do não tratamento adequado de esgoto que deteriora a qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos, a geração de água para reuso torna-se duplamente benéfica, preservando a qualidade e a quantidade desse recurso nos mananciais. O TEWetland, modelo de tratamento misto e inovador, idealizado pela equipe de pesquisa do Laboratório de Ecologia Aquática da UFPB é uma solução baseada na natureza, que une o Tanque de Evapotranspiração (adaptado) e o Wetland Construído. Esta tecnologia é feita para receber tanto as águas de lavagem como as águas dos vasos sanitários, gerando um efluente para reuso, e a produção de alimentos em sua estrutura. Dois protótipos foram instalados no município de Ingá-PB, TEWetland_UPA e TEWetland_SAMU, sendo monitorado o efluente do primeiro módulo (TEVAP) dos dois que compõem o sistema. Diante do monitoramento, os protótipos que possuem dimensões e demanda distintas, tiveram suas concentrações médias de DBO, DQO e coliformes dos efluentes comparadas entre si, e com os principais sistemas de tratamento de esgoto, apresentando resultados superiores a estes, e se aproximando de resultados de Lodos Ativados (LA), com algumas situações ainda com qualidade superior, como a redução maior em coliformes. A comparação entre os protótipos, permite ainda indicar o sub ou hiper dimensionamento dos protótipos de acordo com a qualidade do efluente. Quanto à remoção de coliformes, o sistema ainda não se apresenta estável. No entanto, para o enquadramento de reuso da água tendo como base a Resolução COEMA nº 02/2017, do Ceará, o TEWetland_UPA em 86,67% dos resultados se apresenta adequado para reuso com fins ambientais, 73,33% para fins urbanos, e mesmo que ainda baixo, 20% para fins agrícolas e para aquicultura. Quanto ao TEWetland_SAMU, 61,54% para fins ambientais, e 46,15% para fins urbanos. Assim, a pesquisa revelou que é possível apresentar alternativas de tratamento ecológico de esgoto doméstico, a partir de Pequenas Centrais de Tratamento de Esgoto Coletivo, com a geração de água de boa qualidade para reuso. Os dimensionamentos dos TEWetlands parecem ser adequados, sendo aceite a hipótese 1, e a hipótese 2 de boa qualidade do efluente para reuso.

Palavras chave: sustentabilidade, biotratamento, Pequena central de tratamento ecológico de esgoto.

ABSTRACT

Investing in new technologies and practices, care for decentralized sewage treatment systems, is necessary, whether in the collective or single-domestic modality. Shortening sewage treatment distances from its polluting source saves resources, raw materials, energy, and avoids transferring the local problem to third parties who have nothing to do with the polluting source, but who are often left with the environmental damage. The semi-arid regions influenced managers more, in order to preserve water quality and maximize its use, in the face of scarcity. Faced with this low water availability, and the useless sewage that deteriorates the environmental quality of aquatic systems and the healthy quality of human life, the generation of water for reuse becomes doubly beneficial, preserving the quality and quantity of this resource in the springs. TEWetland, a unique mixed treatment model, designed by the research team at the Laboratory of Aquatic Ecology/UFPB, is a nature-based solution that combines the Evapotranspiration Tank (adapted) and the Constructed Wetland. This technology is made to receive both gray and black water, generating treated water effluent for reuse, and the production of food in its structure. Two prototypes were installed in the municipality of Ingá-PB, TEWetland_UPA and TEWetland_SAMU, and the effluent from the first module (TEVAP) of each was monitored. The prototypes compared to the average concentrations of BOD, COD and coliforms in the effluents, with the main secondary treatment systems, performed very well, approaching the results of Activated Sludges (AL), and in some situations, the quality is still superior. As for coliforms, the system is still not stable, however, the TEWetland_UPA in 83.3% of the results is suitable for reuse with environmental fins, 75% for urban fins, and even if still low, 25% for agricultural fins and for aquaculture. As for TEWetland_SAMU, 66.6% for environmental purposes, and 55.5% for urban purposes, based on Resolution Coema No. 02/2017, of Ceará, the only resolution in Brazil that establishes standards for water reuse from sanitary effluents. Thus, the research revealed that it is possible to present alternatives for ecological treatment of domestic sewage, using Small Collective Sewage Treatment Plants, with the generation of good quality water for reuse. The dimensions of the TEWetlands appear to be adequate, with hypothesis 1 being accepted, and hypothesis 2 of good quality of the effluent for reuse.

Key words: sustainability, biotreatment, Small ecological sewage treatment plant

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Relação entre investimentos em esgotamento sanitário e internações por diarreia no Brasil.-----	21
Figura 2: Relação entre investimentos em esgotamento sanitário e internações por diarreia por regiões no Brasil.-----	21
Figura 3: Fontes de poluição pontual e difusa -----	27
Figura 4: Sistemas de esgotamento individuais (estático) e coletivos (dinâmico) -----	28
Figura 5: Sistemas de esgotamento separador e combinado -----	29
Figura 6: Sistema Australiano -----	32
Figura 7: Desenho esquemático de um reator UASB -----	32
Figura 8: Desenho esquemático simplificado de uma lagoa facultativa -----	33
Figura 9: Esquema do Círculo de Bananeiras -----	36
Figura 10: Esquema do Tanque de Evapotranspiração -----	37
Figura 11: Concentrações Químicas presentes na água de poço raso (12m) e fundo (30m) antes e depois da construção das Fossas Ecológicas, em área ribeirinha ao Rio do Cabelo -----	39
Figura 12: Tipos de fluxos subsuperficial em Wetland construídos -----	40
Figura 13: Disposição das plantas macrófitas em Wetlands construídos -----	40
Figura 14: Mapa de localização do município de Ingá-PB -----	45
Figura 15: Protótipo - Primeira Unidade do Sistema TEWetland Sistema TEWetland -----	46
Figura 16: Protótipo - Segunda Unidade do Sistema TEWetland -----	47
Figura 17: Enumerações dos elementos presentes no módulo 1 do TEWetland em vista superior -----	48
Figura 18: Enumerações dos elementos presentes no módulo 1 do TEWetland em vista transversal -----	48
Figura 19: Enumerações dos elementos presentes no módulo 2 do TEWetland em vista transversal -----	49
Figura 20: Planta baixa com as medidas do módulo 1 (TEVAP) do Tewetland UPA -----	50
Figura 21: Corte transversal com as medidas do módulo 1 (TEVAP) do Tewetland UPA -----	51

Figura 22: Planta baixa com as medidas do módulo 1 (TEVAP) do Tewetland SAMU -----	51
Figura 23: Planta baixa com as medidas do módulo 1 (TEVAP) do Tewetland SAMU -----	52
Figura 24: Corte transversal com as medidas do módulo 2 (Wetland) dos protótipos -----	52
Figura 25: Corte transversal com as medidas do módulo 2 (Wetland) dos protótipos -----	52
Figura 26: Roda de conversa em campo com a equipe construtiva, em Ingá-PB -----	56
Figura 27 Ação junto a equipe gestora e funcionários dos prédios, em Ingá-PB - -----	56
Figura 28: Escavação e a estrutura lateral do TEWetland -----	58
Figura 29: Construção das Câmaras de Fermentação -----	59
Figura 30: Preenchimento da primeira camada do TEVAP TEWetland_UPA e TEWetland_SAMU -----	60
Figura 31: Preenchimento das camadas de brita e solo do TEVAP TEWetland_UPA e TEWetland_SAMU -----	60
Figura 32: Plantando no TEVAP TEWetland_UPA e TEWetland_SAMU -----	61
Figura 33: Canos furados para oxigenar o sistema -----	63
Figura 34: Limpeza da gordura no cano exaustor -----	63
Figura 35: Relação entre os parâmetros químicos e precipitação ao longo do tempo no TEWetland_UPA -----	64
Figura 36: Relação entre os parâmetros químicos e precipitação ao longo do tempo no TEWetland_SAMU -----	64
Figura 37: DBO ao longo do tempo no TEWetland_UPA -----	66
Figura 38: DBO ao longo do tempo no TEWetland_SAMU -----	66
Figura 39 Transbordo do esgoto pelo cano exaustor e solo enxarcado do protótipo UPA -----	67
Figura 40: DQO ao longo do tempo no TEWetland_UPA -----	67
Figura 41: DQO ao longo do tempo no TEWetland_SAMU -----	68
Figura 42: pH e condutividade ao longo do tempo no TEWetland_UPA-----	69
Figura 43: pH e condutividade ao longo do tempo no TEWetland_SAMU -----	69
Figura 44: Coliformes ao longo do tempo no TEWetland UPA e TEWetland SAMU -----	70

Figura 45: Boxplot da concentração de amônia entre os protótipos UPA e SAMU	76
Figura 46: Boxplot da concentração de nitrito entre os protótipos UPA e SAMU	77
Figura 47: Boxplot da concentração de nitrato entre os protótipos UPA e SAMU	78
Figura 48: Boxplot da concentração de fosfato entre os protótipos UPA e SAMU	78
Figura 49: Boxplot da concentração de DBO entre os protótipos UPA e SAMU	79
Figura 50: Boxplot da concentração de DQO entre os protótipos UPA e SAMU	79
Figura 51: Boxplot da concentração de coliformes entre os protótipos UPA e SAMU	80

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Constituintes do esgoto doméstico. -----	26
Quadro 2: classificação de água de reuso, quanto a forma de aproveitamento -- -----	41
Quadro 3: Area necessária para tratamento de esgoto TEWetland x TEVAP -----	50
Quadro 4: Métodos utilizados para os compostos nitrogenados e fosfatados. ---- -----	54
Quadro 5: Período de coleta do efluente dos protótipos. -----	62
Quadro 6: Qualidade do efluente tratado pelos protótipos (valores médios e desvio padrão) e legislação-----	71
Quadro 7: Comparação entre os custos das concepções de sistemas de Lodo Ativado -----	72
Quadro 8: Concentração dos diversos parâmetros de efluentes de ETEs e os protótipos TEWetland (1º módulo – TEVAP) -----	73
Quadro 9: Padrões da Resolução Coema nº 02/2017 para Reuso de Efluentes Sanitários -----	75

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANA - Agência Nacional de Água e Saneamento Básico

CB – Círculo de Bananeiras

CF – Câmara de Fermentação

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO - Demanda Química de Oxigênio

LABEA - Laboratório de Ecologia Aquática

ODS - Objetivos do Desenvolvimento Sustentável

PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico

PRODEMA - Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente

SAMU - Serviço de Atendimento Móvel de Urgência

SES – Sistema de Esgotamento Sanitário

SNIS - Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento

TEVAP – Tanque de Evapotranspiração

TSA – Tecnologias Socioambientais

UFPB - Universidade Federal da Paraíba

UNICEF - The United Nations Children's Fund

UPA - Unidade de Pronto Atendimento

WC - Wetlands Construído

WHO - World Health Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1. Cenário do esgotamento sanitário no Brasil	19
2.2. Esgoto sanitário	24
2.3. Esgotamento sanitário	28
2.4. Estações de Tratamento de Esgoto	30
2.5. Saneamento Ecológico	34
2.6 Água de reuso	41
2.8. Sistema TEWetland	43
3. MATERIAL E MÉTODOS	44
3.1. Área de estudo	44
3.2. Protótipos.....	46
3.2.2. Concepção da tecnologia	46
3.3. Análises do efluente	52
3.3.1. DBO e DQO.....	53
3.3.2. Análises físicas e químicas	53
3.3.3. Análises microbiológicas.....	54
3.3.4. Análises parasitológicas.....	54
3.4. Análises estatísticas	54
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	56
4.1. Mobilização Social	56
4.2. Construção	57
4.3. Análises do efluente	61
4.4. Dimensão x Tratamento	76
5. CONCLUSÕES.....	81
REFERÊNCIAS	83

1. INTRODUÇÃO

Os corpos hídricos, principalmente os presentes nas áreas urbanas são bastante degradados, devido principalmente à ocupação desordenada do território e à ausência de um esgotamento sanitário que contemple além da coleta de esgoto, o seu tratamento minimamente aceitável, a fim de evitar que os efluentes gerados pela população percolem o solo, contaminando o lençol freático, ou que seja carreado até um corpo aquático.

De acordo com os dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2023) referentes ao ano de 2022, dos 92,5% dos municípios brasileiros analisados neste relatório (5.150 municípios), apenas 56,3% possuem sistemas públicos de esgotamento sanitário. 43,7% adotam soluções individuais, como fossa séptica, fossa rudimentar, vala a céu aberto e lançamento em cursos de água. Dessas alternativas apenas a fossa séptica é considerada como adequada pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab). Embora para qualidade ambiental não devem ser vistas como soluções adequadas ou eficientes, visto que, quando apresentam um sumidouro, ainda infiltram muitos nutrientes para os lençóis freáticos, contaminando as águas de consumo.

Quanto à população concentrada nesses municípios (97,5%) apresentados no relatório, 56% têm o esgoto coletado, e destes 81,6% são tratados. No entanto apenas pouco mais da metade de todo o esgoto gerado é efetivamente tratado (52,2%). Esses números indicam que, apesar da presença de sistemas públicos em alguns municípios, ainda persistem desafios significativos na coleta e tratamento adequado do esgoto, evidenciando a necessidade de melhorias nas práticas de saneamento, principalmente das regiões Norte e Nordeste que são as mais deficitárias.

Segundo o levantamento mais recente realizado em 2017 pela Agência Nacional da água (ANA), mais de 110 mil quilômetros de trechos de rios, não intermitentes, estão com sua qualidade comprometida devido ao excesso de carga orgânica, com mais de 83 mil quilômetros impossibilitados para captação.

É importante se debruçar diante desses dados, e fazer algumas reflexões sobre a forma como é encarado o saneamento básico no país, os investimentos, tecnologias e práticas adotadas para ampliação da cobertura e democratização

dos serviços, e especialmente, do esgotamento sanitário ainda muito precário, principalmente num século em que a água tende a diminuir.

Historicamente, os investimentos na área de saneamento básico sempre tiveram menor atenção nas zonas rurais e pequenos municípios, estando mais concentrados em políticas voltadas para os grandes centros urbanos, trazendo como consequência, impactos ambientais e problemas de saúde pública à população que não tem acesso a esses serviços (PIRES, 2012). Reflexo de uma política predominante de implantação de sistemas centralizados de tratamento de esgoto, em que se tornam inviáveis economicamente em regiões menos adensadas (OLIVEIRA JR, 2013). As redes coletoras de esgoto representam mais de 60% do orçamento total requerido para implementação desses sistemas (ZAHARIA, 2017).

A ausência da prestação do serviço de esgotamento sanitário, especialmente em comunidades periféricas e áreas mais pobres, resulta na prática comum de descartar as águas de lavagens em quintais e ruas. Essas águas, agravam os problemas de saúde ao atrair vetores e criar condições prejudiciais à qualidade de vida, aumentando a transmissão de verminoses. Em contrapartida, as águas provenientes de descargas sanitárias, são predominantemente direcionadas para fossas sépticas que, em muitos casos, excedem sua capacidade e causam vazamentos ou são seguidas por um sumidouro, que contaminam os lençóis freáticos. Outras práticas comuns incluem o uso de fossas rudimentares, permitindo a infiltração intencional do esgoto, contaminando mais ainda o lençol freático.

Apesar de fossas sépticas impermeáveis serem consideradas uma das escolhas mais adequadas para essas regiões isoladas ou à margem da prestação dos serviços, a falta de limpeza periódica por limpa fossas pode comprometer o destino apropriado do esgoto. É comum a prática de associar essas fossas a um sumidouro, o que contamina o solo e lençol freático da mesma forma, porque apesar de parcialmente tratado o efluente ainda é rico em nutrientes e coliformes, contaminando as águas de poços para consumo humano.

Direcionando o olhar para as regiões mais adensadas, mesmo o esgoto coletado que vai para tratamento, ainda em sua grande maioria, vai para as Estações de Tratamento Convencionais centralizadas, como os sistemas

australianos com lagoas de decantação, não complementado por um tratamento terciário, o que gera ainda efluentes bastante ricos em nutrientes, contribuindo com o processo de eutrofização dos rios (ANA, 2017). Apenas 39% da carga orgânica é removida de todo o esgoto produzido diariamente no Brasil, índice abaixo dos 60% de remoção mínima fixados pelo CONAMA (ANA, 2017).

Investir em novas tecnologias e práticas, voltadas para sistemas de tratamento de esgoto descentralizados e com tratamento mais eficaz faz-se necessário, seja na modalidade coletiva ou unidomiciliar. Diminuir distâncias do esgoto de sua fonte poluidora implica na economia de recursos, matéria prima, energia, e evita que injustiças ambientais possam ocorrer. Cada vez mais, torna-se necessário pensar global e agir melhor localmente.

A permacultura, através do saneamento ecológico e soluções baseadas na natureza, é precursora e proponente de algumas Tecnologias Socioambientais de baixo custo para o tratamento de efluentes, como Círculo de Bananeiras (CB) e Tanque de Evapotranspiração (TEvap), demonstrando o quão é possível trabalhar de forma integrada no local, de forma sustentável, na construção de uma cultura permanente, gerando ciclos fechados na gestão ambiental e evitando sistema lineares que causam impactos ambientais e sociais. Infelizmente estas tecnologias socioambientais são mais aplicadas em comunidades alternativas, sendo ainda pouco difundidas na maior parte do país.

O TEvap é um sistema ecológico de tratamento que trata apenas as águas do sanitário das residências, com um sistema de biodigestão, que mata organismos fecais, filtração, absorção dos nutrientes por plantas e evapotranspiração do restante da água, não enchendo e não requerendo a necessidade de esvaziar as fossas e produzindo alimentos sobre ele. Este sistema é completado com Círculos de Bananeiras para o tratamento das águas de lavagens.

Apesar de ser um sistema muito interessante para o tratamento de esgoto domiciliar, visto que não contamina solos nem água, usando todo o esgoto na produção de alimentos e evapotranspiração, há a necessidade de, atualmente, se tratar água a ponto de ser reusada e no TEvap isso não ocorre, toda a água é evapotranspirada. Dessa forma, novas fossas ecológicas, que aproveitem todo o potencial positivo do TEvap, mas que possam gerar água para reuso são necessárias, principalmente na região nordeste do Brasil, o semiárido, em que

água é um fator limitante para quase tudo, visto que as taxas de precipitação são muito baixas (300mm no Cariri a 800mm no sertão) e toda a água deve ser aproveitada, além disso, os esgotos não tratados adequadamente ainda poluem os rios, limitando o uso da água e sendo locais de transmissão de doenças, principalmente as de veiculação hídrica.

Dessa forma, foi desenvolvido o TEWetland, modelo misto de tratamento inédito, idealizado pela equipe de pesquisa do Laboratório de Ecologia Aquática/UFPB, que é uma Solução Baseada na Natureza (SBN), une o Tanque de Evapotranspiração (adaptado) e um Wetland Construído. Esta tecnologia é feita para receber tanto as águas de lavagens como as águas dos vasos sanitários (diferente também do TEVAP), gerando um efluente para reuso, e a produção de alimentos na sua estrutura.

A disposição de água para reuso, quando encarada como uma ação de política pública, não só contribui com a preservação da qualidade dos corpos hídricos, como também proporciona uma melhor gestão. Regiões do semiárido exigem mais esforços dos gestores, a fim de preservar a qualidade da água e maximizar o aproveitamento, em frente à escassez. Diante dessa problemática da pouca disponibilidade hídrica, e do esgoto inútil que deteriora a qualidade ambiental dos ecossistemas aquáticos e a sadia qualidade de vida, a geração de água para reuso torna-se duplamente benéfica, preserva a qualidade e a quantidade desse recurso nos mananciais, ao mesmo tempo em que preserva também a saúde pública.

O TEWetland contribui com 10 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS 1 –Erradicação da pobreza (porque permite o plantio de alimentos sobre as fossas e disponibiliza água de reuso), 2 – fome zero (por permitir a produção de alimentos), 3 – Boa saúde e bem estar (porque retira de céu aberto muitas águas de lavagens e fossas estouradas, reduzindo maus odores e melhorando a saúde), 6 – Água limpa e saneamento (porque trata o esgoto adequadamente e gera água para reuso), 9 – Indústria, inovação e infraestrutura (porque é uma inovação que vai auxiliar e melhorar a infraestrutura para o tratamento de esgoto doméstico), 10 – Redução das desigualdades (ao proporcionar a produção de alimentos a comunidades mais carentes e o tratamento de esgoto que é mais aplicado em cidades maiores), 11 – Cidades e comunidades sustentáveis (por reduzir a poluição nos cursos de água, por aproveitar os nutrientes do esgoto

para a produção de alimentos, por melhorar a qualidade de vida humana), 14 – Vida na água (por melhorar os recursos hídricos ao evitar o lançamento de nutrientes por esgotos mal tratados, favorecendo a biota), 15 – Vida sobre a Terra (por evitar a contaminação de solos por águas de lavagens ou fossas estouradas ou permeáveis), 17 – Fortalecimento das parcerias (visto que sem a parceria com a Prefeitura de Ingá não seriam construídos os protótipos).

Esta dissertação propõe-se a provocar reflexões acerca das Estações de Tratamento de Esgoto convencionais e promover um novo ideário quanto a um esgotamento sanitário de menor impacto e que vá em direção ao atendimento dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS), tão importantes para a construção de uma sociedade melhor e mais sustentável. Será apresentado a tecnologia TEWetland, seu processo construtivo, funcionamento e o envolvimento dos agentes participativos, tão importantes para a consolidação da tecnologia e sua efetividade. Por fim, será discutida a qualidade de seu efluente tratado, através da análise físicas, químicas e biológicas (microbiológicas e de parasitos) da água e a possibilidade de reuso, buscando o entendimento de um dimensionamento ideal.

Como objeto de estudo, dois protótipos foram analisados, discutidos e comparados ao longo desta dissertação, eles são: TEWetland SAMU e TEWetland UPA. A demanda de esgoto e suas dimensões são diferentes, ambos instalados no mesmo território, na Secretaria de Saúde do município de Ingá-PB, porém para atender dois prédios públicos diferentes: SAMU (Serviço de Atendimento Móvel de Urgência) e adjacentes (Secretaria de Saúde, e de Transporte), e UPA (Unidade de Pronto Atendimento).

O teor interdisciplinar está presente neste estudo, pela sua capacidade de caminhar e integrar as diferentes ciências exatas que retornam dados quantitativos, quanto pelas ciências sociais, da saúde e natureza, sem que nenhuma ciência sobressaia à outra, mas estreitando suas fronteiras, de forma que juntas possam retornar um resultado robusto e que atenda as reais necessidades da sociedade.

As hipóteses que norteiam esta pesquisa, são de que i) O dimensionamento proposto para os protótipos TEWetland SAMU e TEWetland UPA implantados são satisfatórios; ii) A água que sai dos sistemas implantados terá condições para múltiplos reusos.

Desta forma, para que as hipóteses sejam validadas, a pesquisa teve como objetivo geral “Propor, dimensionar, construir e testar dois protótipos de TEWetland avaliando a sua eficácia na produção de água para reuso” e específicos.; i) Propor, dimensionar e construir dois equipamentos TEWetland; ii) Avaliar a qualidade dos efluentes; iii) Enquadrar os tipos de reuso mais adequados ao efluente tratado dos protótipos; e por fim, iv) Mobilizar socialmente os atores envolvidos para a adoção de práticas sustentáveis relacionadas com o tratamento de esgoto e a geração da água de reuso.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Cenário do esgotamento sanitário no Brasil

O saneamento básico, é composto pelo fornecimento de água potável, esgotamento sanitário, drenagem e coleta de resíduos sólidos (ANA, 2019), estas são medidas essenciais para a manutenção de um ambiente em harmonia que reflete significativamente na qualidade de vida das pessoas, e que é uma premissa da Constituição Federal (BRASIL, 1988) que estabelece que “Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida”. No entanto, a prestação desses serviços ainda não ocorre de forma igualitária, mais de 35 milhões de brasileiros não dispõem de água tratada e mais de 100 milhões não têm acesso à coleta de esgoto (SNIS, 2021). Comunidades rurais, periféricas e municípios de pequeno porte possuem uma maior dificuldade quanto à prestação desses serviços, Sousa (2015) aponta que quanto maior a densidade populacional de uma cidade mais adequado o saneamento é, se comparado com as regiões menos adensadas.

No âmbito rural, o esgotamento sanitário é o mais deficitário dentre os serviços de saneamento. Segundo o PLANSAB (2019) 60,3% dos domicílios em áreas rurais do país em 2017 não possuía tratamento ou disposição adequada de seus esgotos, sendo reflexo de políticas públicas insatisfatórias voltadas para o homem e a mulher do campo.

Importante salientar que o acesso desses serviços de saneamento

mesmo em grandes metrópoles não ocorre de forma democrática. Almeida (2017) apontou que, quanto às questões de meio ambiente, a atenção do poder público permanece focada nos interesses das classes sociais mais altas, que certamente vivem nas melhores regiões da cidade, refletindo-se em uma segregação ambiental.

Os avanços na cobertura de esgotamento sanitário ocorrem de forma muito lenta, no ano de 2020 há um crescimento de 4% na ampliação da cobertura referente ao ano anterior. Deve ser considerado que foi investido para água e esgoto no referido ano 13,7 bilhões de reais (SNIS, 2021).

Segundo o SNIS do total do esgoto gerado em 2020, apenas 55% é coletado, não significando assim dizer que é todo tratado, pois no total de esgoto coletado apenas 50,8% passa por tratamento. A região Norte e Nordeste possui os piores índices, 13,1% e 30,3% de coleta respectivamente, sendo o Nordeste a região que menos trata seu esgoto coletado (76,0%).

Não investir em saneamento básico, ou não alocar bem os recursos para uma efetiva ampliação dos serviços, principalmente no esgotamento sanitário, que ainda é bastante deficiente reflete em diferentes prejuízos para a sociedade. Kronemberger et al. (2011) relataram sobre diversos problemas atrelados à falta do saneamento ou à sua precariedade, como exemplo a contaminação na captação de água para o abastecimento humano, poluição de corpos aquáticos, doenças, erosão acelerada, assoreamento, inundações frequentes, etc.

Quanto às doenças de veiculação hídrica, segundo a OMS estas são predominantes em países de baixa renda (PIB *per capita* inferior a US\$825,00). Ferreira (2016) apontou que grande parte das doenças registradas pela falta de saneamento são de transmissão oro-fecal e apresentam como sintoma, além de outros, a diarreia, segunda maior causa de mortes em crianças menores de 5 anos de idade no mundo (UNICEF, 2009).

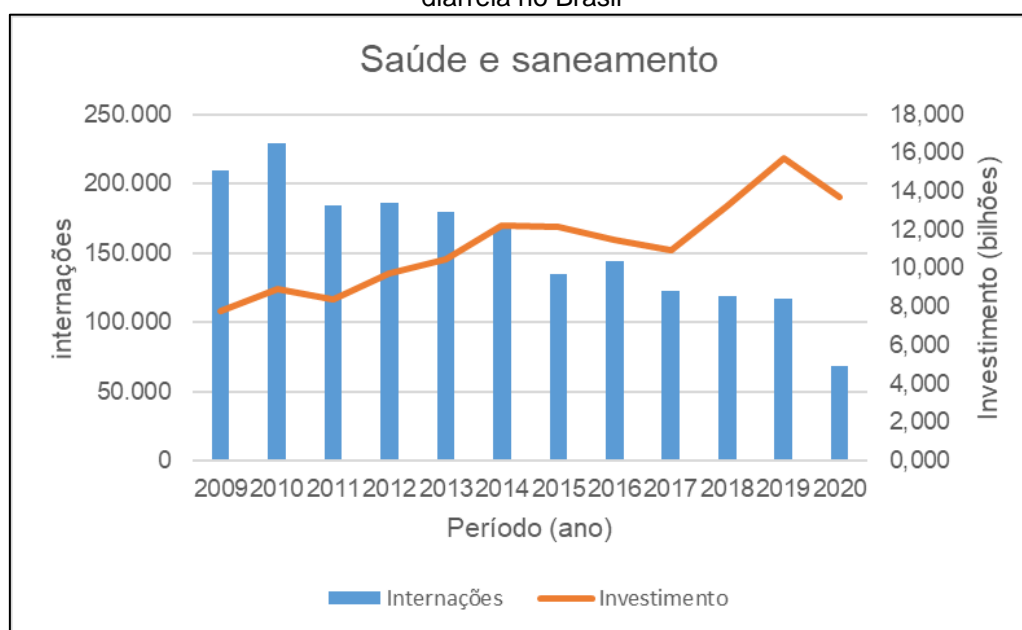
Assim como na saúde, a precariedade do saneamento afeta na economia, R\$ 108 milhões de reais foram gastos pelo governo brasileiro no ano de 2019 segundo levantamento pelo DataSus, com internações devido a doenças associadas à falta de saneamento básico, com um montante de R\$ 273.403,00, liderados pela região do Nordeste.

Investir em saneamento, é investir na saúde das pessoas. Segundo dados do Ministério da Saúde “para cada R\$ 1,00 investido em saneamento há uma

economia de R\$ 4,00 em saúde” (BRASIL, 2006, p.41).

Na figura 1 segue o levantamento de investimentos realizados em água e esgotos no Brasil (SNIS) e a quantidade de internações por diarreia e gastroenterite de origem infecciosa presumível (DataSus). Na série histórica de 11 anos (2009 – 2020) é possível notar que com os avanços nos investimentos em água e esgoto, há uma diminuição considerável na quantidade das internações, confirmando que o investimento em tratamento de esgoto melhora a saúde pública, logo os gastos em saúde. No entanto, há muito que se avançar no setor, principalmente se for levado em consideração que de 2009 a 2019 foram investidos mais de 50,5 bilhões em esgotamento sanitário, e mesmo assim mais de 100 milhões de brasileiros não têm seu esgoto coletado e tratado.

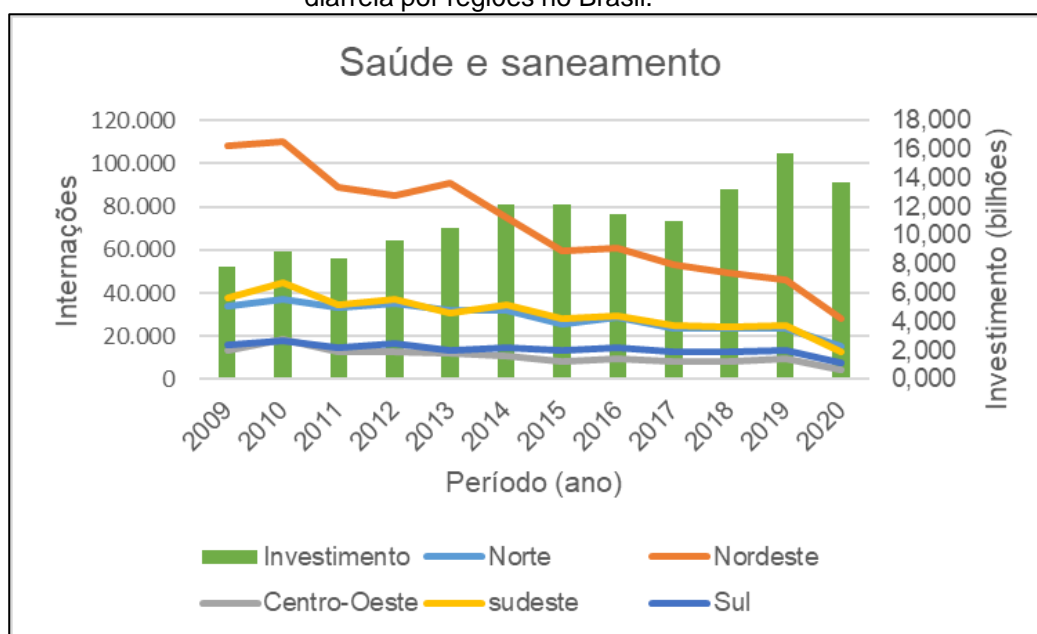
Figura 1- Relação entre investimentos em esgotamento sanitário e internações por diarreia no Brasil



Fonte: Adaptado do DataSus e SNIS

Ao regionalizar é possível observar que os maiores índices de internações por diarreia ocorrem na região do nordeste (Figura 2), que historicamente junto com a região Norte, possuem os piores índices de cobertura de esgotamento. Outros fatores contribuem para esses índices, como as condições climáticas que favorecem alguns patógenos e a escassez hídrica, que o semiárido nordestino enfrenta, que pode prejudicar algumas práticas de higiene, como lavagem das mãos.

Figura 2- Relação entre investimentos em esgotamento sanitário e internações por diarreia por regiões no Brasil.



Fonte: Adaptado do DataSus e Snis

A cobertura de esgotamento sanitário é muito importante, mas a qualidade do tratamento dos esgotos é tão importante quanto, e a ANA através de seu documento, Atlas Esgotos Despoluição de Bacias Hidrográficas, elaborado em 2017 traça o diagnóstico do esgotamento sanitário no Brasil, dando destaque na remoção da carga orgânica dos esgotos, e para as suas implicações na qualidade dos corpos de água receptores.

De acordo com a ANA (2017) 70% dos municípios que foram levantados (5.570), despejam seus esgotos com remoção de no máximo 30% da carga orgânica gerada. E apenas 31 das 100 cidades mais populosas fazem a remoção acima de 60%. Ou seja, mesmo quando se fala em índices de esgoto tratado, muito se deixa a desejar ainda sobre a qualidade destes tratamentos.

A Resolução CONAMA nº 430/2011, que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, prescreve que o tratamento dos efluentes deve remover 60% de DBO para o lançamento direto nos corpos receptores. Segundo a ANA (2017), apenas 14% dos municípios apresentam índices de remoção de DBO em conformidade com o que determina o CONAMA.

A Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), de forma indireta mensura a carga orgânica da água através da quantidade de oxigênio requerida por microrganismos decompositores (predominantemente bactérias e fungos) e para

oxidar os compostos presentes em amostras da água coletada (SANT'ANNA Jr., 2013).

Maioritariamente a forma de tratar esgotos em locais com grande densidade populacional ocorre de forma centralizada, realizando a coleta de grandes volumes de esgoto a ser tratado e descartado longe da fonte geradora (LIBRALATO et al., 2012), sendo assim, estas Estações de Tratamento de Esgoto, devido ao grande volume demandam por grandes áreas para serem implementadas, e de preferência longe de habitações, assim como requerem grandes quantidades de tubulação e elevatórias de esgoto em alguns pontos das cidades.

No ano de 2017 foi registrado em levantamento mais recente da ANA (2017), 2.768 Estações de Tratamento de Esgotos em operação em 1.592 cidades. O relatório conta com 37 tipos de arranjos para o processo de tratamento. Embora a grande maioria dessas estações consiga operar com remoção de DBO entre 60 e 80%, a eficiência delas para remoção de nutrientes (Fósforo e/ou Nitrogênio) é preocupante, apenas 131 ETEs no Brasil operam com capacidade de remoção de nutrientes, sendo o nordeste a região pior colocada com apenas 1% de suas ETEs capazes de realizar esse feito.

Combater o excesso de nutrientes dos efluentes lançados no corpo receptor é de grande importância, o fósforo é essencial para o crescimento de algas, cultura agrícolas e outros organismos biológicos (METCALF & EDDY; AECOM, 2014), bem como o nitrogênio. Estes elementos são considerados bioestimulantes, se lançados em grandes quantidades nos rios contribuem para o processo de eutrofização, que leva à perda da qualidade de água.

Desde 2007 a Lei 11.445 estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico no Brasil, e define as responsabilidades dos entes federativos, com o objetivo da universalização do saneamento básico até 2033. No entanto, as ações por parte da União não atingiram o território brasileiro de forma homogênea. Segundo Ferreira, isso ocorre em detrimento “das diferentes características locais dos municípios, como o nível de suas capacidades técnicas, vontade política das gestões municipais e captação de recursos” (FERREIRA, 2021, pg. 65451).

Mais recentemente, em 2020, surgiu a Lei 14.026 conhecida como o Novo Marco Legal do Saneamento Básico, trazendo mudanças significativas

incentivando a participação do setor privado com o objetivo de atrair investimentos para o setor para a promoção da universalização dos serviços. Esta lei ainda incube a ANA como responsável por diversas novas atribuições, como, tratar sobre regulações tarifárias, padronização de contratos e instituir metas para a universalização dos serviços de saneamento básico, passando a ser chamada de Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (RIBEIRO e CUKIERT, 2020).

Diversas são as opiniões sobre o novo Marco Legal, há aqueles que são a favor alegando atração de investimentos, trazendo oportunidades importantes para as startups oxigenando o setor com inovações e eficiência, quando outros alegam aumento do preço dos serviços, lucro das empresas acima da qualidade dos serviços prestados, e desfavorecimento das comunidades vulneráveis (FERREIRA, 2021), principalmente as com baixa urbanização, que não terão empresas interessadas, pelo grande investimento e baixo lucro.

Ao se debruçar sobre a série histórica de dados do SNIS, comunidades vulneráveis principalmente das regiões do Norte e Nordeste sempre estiveram em desfavorecimento. Independente da concepção ser para uma empresa pública ou privada, esta deverá ser economicamente sustentável. O que o setor precisa é compreender que em um país como o Brasil com dimensões continentais e diferentes realidades, um único arranjo de tratamento a ser seguido se torna inviável, exigindo que soluções alternativas surjam para a ampliação da cobertura do esgotamento sanitário, de preferência a baixo custo.

2.2. Esgoto sanitário

A NBR 9648 (ABNT 1986) define o esgoto sanitário, como “despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição parasitária”, sendo estes componentes considerados pela NBR da seguinte forma:

- Esgoto doméstico: Despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas;
- Esgoto industrial: Despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitados os padrões de lançamentos estabelecidos;

- Água de infiltração: toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações;
- Contribuição pluvial parasitária: parcela do deflúvio superficial.

A palavra esgoto, era utilizada para definir tanto a tubulação condutora quanto o próprio líquido que é conduzido Jordão e Pessoa (2011), no entanto hoje, considera-se apenas os despejos líquidos que perpassam pelas tubulações. É comum também na literatura o termo águas residuárias ao se tratar de esgotos (MARTINS, 2018).

De forma simplificada a classificação dos esgotos é comumente feita em dois grupos principais: esgotos domésticos e industriais. Estes são originados, mediante a utilização da água de abastecimento após ser usada de diferentes formas em atividades diárias e comerciais (MARTINS, 2018). A taxa individual de esgoto produzido é menor que a água consumida (ARAÚJO, 2011).

A falta do manejo ou o manejo inadequado dos esgotos pode gerar diversos infortúnios, o acúmulo dessas águas residuárias, produzem gases que geram mau cheiro, proporciona condições para a proliferação de patógenos, e os nutrientes que fazem parte de sua composição ao adentrarem os corpos hídricos, contribuem com o processo de fertilização aquática, promovendo o crescimento de plantas aquáticas indesejadas (METCALF & EDDY; AECOM, 2014).

Os efluentes que compõem o esgoto doméstico podem ser classificados basicamente em dois tipos: águas do sanitário e águas de lavagens. As águas de lavagens, consideram-se o maior volume do esgoto doméstico (RIDDERSTOLPE, 2004). Já as águas do sanitário, são provenientes exclusivamente do vaso sanitário, devendo conter basicamente fezes, urina e papel higiênico.

Os esgotos são caracterizados em função de suas propriedades físicas, químicas e biológicas (METCALF; EDDY; AECOM, 2014). Quanto às características físicas, Nuvolari (2011) apresentou que, quando não contêm resíduos industriais, o esgoto é constituído aproximadamente de 99,87% de água, 0,04% de sólidos sedimentáveis, 0,02% de sólidos não sedimentáveis, e 0,07% de substâncias dissolvidas.

A produção do esgoto doméstico e seus constituintes vão variar de acordo

com a taxa *per capita* do consumo de água, os hábitos, e costumes de cada localidade. De forma geral, segundo Nuvolari (2011), os principais constituintes do esgoto doméstico estão dispostos no quadro a seguir.

Quadro 1 - Constituintes do esgoto doméstico

Tipo de substâncias	Origem	Observações
Sabões	Lavagem de louças e roupas	
Detergentes (biodegradáveis ou não)	Lavagem de louças e roupas	A maioria dos detergentes contém o nutriente fósforo na forma de polifosfato.
Cloreto de sódio	Cozinha e urina humana	Cada ser humano elimina pela urina de 7 a 15 gramas/dia
Fosfatos	Detergentes e urina humana	Cada ser humano elimina, em média, pela urina 1,5 gramas/dias
Sulfatos	Urina humana	
Carbonatos	Urina humana	
Ureia, amoníaco e ácido úrico	Urina humana	Cada ser humano elimina de 14 a 42 gramas de ureia por dia
Gorduras	Cozinha e fezes humana	
Substâncias córneas, ligamentos da carne e fibras vegetais não digeridas	Fezes humana	Vão se constituir na matéria orgânica em decomposição, encontrada nos esgotos
Porções de amido (glicogênio, glicose) e de proteicos (aminoácidos, proteínas, albumina)	Fezes humana	Idem
Urobilina, pigmentos hepáticos	Urina humana	Idem
Mucos, células de descamação epitelial	Fezes humana	Idem
Vermes, bactérias, vírus, leveduras, etc.	Fezes humana	Idem
Outros materiais e substâncias: areia, plásticos, cabelos, sementes, fetos, madeira, absorventes femininos, etc.	Areia: infiltrações nas redes de coleta, águas pluviais, banhos. Demais substâncias: lançadas no vaso sanitário.	
Água		99,9%

Fonte: Nuvolari (2011)

A degradação dos corpos hídricos, muito vai-se dar pela poluição das águas advindas desses constituintes presentes no esgoto que agirão de diferentes formas.

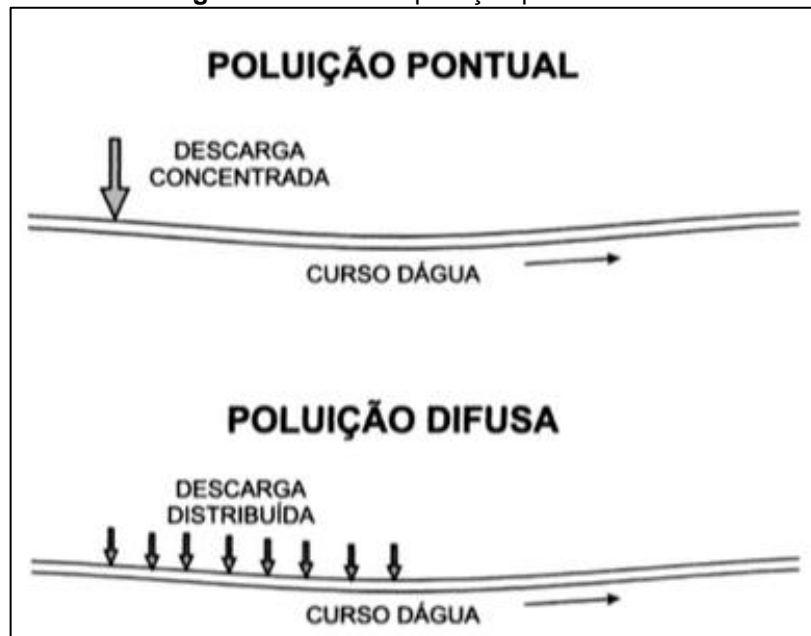
Existem basicamente duas formas em que a fonte de poluentes pode atingir o corpo hídrico, que são:

- Poluição pontual: os poluentes atingem o corpo hídrico de forma concentrada no espaço;
- Poluição difusa: os poluentes adentram o corpo hídrico ao longo de parte

de sua extensão.

Segue abaixo a demonstração dessas fontes de poluição por Nuvolari (2011).

Figura 3- Fontes de poluição pontual e difusa



Fonte: Sperling (1996)

A ideia é de que, com sistemas de tratamento de esgoto eficientes a poluição pontual deixe de existir. Ainda segundo Nuvolari (2011), os principais agentes poluidores do esgoto não tratado e seus respectivos efeitos na água são:

- Sólidos em suspensão: ocasionam problemas estéticos, depósito de lodo, adsorção de poluentes, e proteção de patógenos;
- Matéria orgânica biodegradável: Consumo de oxigênio, mortandade de peixes, condições sépticas;
- Nutrientes: proporciona o crescimento excessivo de algas, toxicidade aos peixes (amônia), poluição da água subterrânea, presença de componentes potencialmente cancerígenos (nitrito);
- Organismos patogênicos: promoção de doenças de veiculação hídrica;
- Matéria orgânica não biodegradável: promove espumas (detergentes), toxicidade, redução da transferência de oxigênio, biodegradabilidade reduzida ou inexistente, e maus odores;

- Metais: promove toxicidade, contaminação das águas subterrâneas;

2.3. Esgotamento sanitário

O esgotamento sanitário abrange o conjunto de obras e instalações projetadas para coletar, transportar, afastar, tratar e dispor, de forma adequada do ponto de vista sanitário, as águas residuais de uma comunidade (BRASIL, 2011).

Basicamente há duas modalidades (Figura 4) de como pode ser realizado o esgotamento sanitário (von Sperling et al., 1995):

- Sistema individual ou sistema estático: (solução no local, individual ou para poucas residências);
- Sistema coletivo ou dinâmico: (solução com afastamento dos esgotos da área servida).

Figura 4- Sistemas de esgotamento individuais (estático) e coletivos (dinâmico)



SPERLING (1996)

O sistema coletivo ainda pode ser encarado como um sistema para tratamento centralizado em que se concentra toda a carga em um único ponto (concepção predominante), ou de forma descentralizada distribuída ao longo do território como pequenas estações de tratamento, mais próximas da sua fonte

geradora (SPERLING, 2005).

Quanto às condições de transporte dos esgotos, o SES se distingue em unitário ou separador absoluto. Um SES unitário recebe além da contribuição do esgoto recebe a água pluvial, já no separador absoluto há divisão entre essas duas contribuições.

Figura 5 - Sistemas de esgotamento separador e combinado



Fonte: Sperling (1996)

Cada um desses sistemas possui vantagens técnicas, econômicas e ambientais distintas, sendo amplamente utilizado no Brasil o sistema separador absoluto (VOLCHAN et al., 2009)

Quanto aos componentes dos SES, Sobrinho e Tsutiya (2000) elencaram os principais como sendo as redes coletoras, as estações elevatórias e as estações de tratamento.

Redes coletoras

As redes coletoras de esgoto são definidas como o conjunto de canalizações destinadas a receber e conduzir esgotos domésticos (ABNT, 1986). Dentre essas canalizações destacam-se:

- Interceptores: canalizações de grande porte destinadas a captar o esgoto das redes coletoras principais, conhecidas como coletores-troncos. Esses interceptores são frequentemente instalados ao longo das margens de corpos de água, rodovias e vias que permitem o fluxo do esgoto por gravidade, evitando lançamentos diretos em córregos que atravessam áreas urbanas (ABNT, 1992);
- Emissário: tubulação que recebe esgoto exclusivamente na extremidade

de montante (ABNT, 1986);

- Linha de Recalque: conjunto de tubulações, conexões, peças, acessórios e dispositivos que asseguram um bombeamento eficiente do esgoto. Essas linhas geralmente têm início em um conjunto motobomba e terminam em um Poço de Visita (PV) ou em uma Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) (ABNT, 2018).
- Coletor: tubulação que recebe a contribuição de ligações prediais (ABNT, 1986);
- Coletor-tronco: tubulação que recebe a contribuição de esgoto de outros coletores (ABNT, 1986).

Estações Elevatórias de Esgoto (EEE)

As estações elevatórias de esgoto são empregadas quando o escoamento dos esgotos não ocorre naturalmente pela ação da gravidade, exigindo o uso de instalações que proporcionem a energia necessária para garantir o fluxo adequado.

Estações de Tratamento de Esgoto

Conforme estabelecido na NBR 12.209 (ABNT, 1992), as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) são compostas por unidades de tratamento, equipamentos, órgãos auxiliares, acessórios e sistemas de utilidades, com o propósito de reduzir as cargas poluidoras do esgoto sanitário e condicionar a matéria residual resultante do tratamento.

2.4. Estações de Tratamento de Esgoto

As Estações de Tratamento de Esgoto, através de processos biológicos e químicos são responsáveis por decompor, remover e eliminar o material orgânico, nutrientes e microorganismos patogênicos dos efluentes. Se trata do processo final do esgotamento sanitário, fechando o ciclo do esgoto doméstico.

O tratamento pode ser dividido em quatro níveis, dependendo do grau de

remoção de poluentes desejado (SNIS, 2021). São eles:

- Tratamento preliminar: remoção de sólidos em suspensão grosseiros (materiais de maiores dimensões), por meio do gradeamento e da desarenação;
- Tratamento primário: remoção de sólidos sedimentáveis e parte da matéria orgânica em decantadores primários;
- Tratamento secundário: Degradação da matéria orgânica por processos aeróbios e/ou anaeróbios em tanques sépticos, lagoas de estabilização, sistemas de lodo ativado e outras formas;
- Tratamento terciário: remoção de poluentes específicos, como nutrientes, microrganismos patogênicos, compostos tóxicos ou componentes não biodegradáveis.

São diversos os tipos de arranjos e processos de tratamento das ETEs, isso vai variar de acordo com os estudos de concepção, etapa de projeto importante para tomada de decisão. A NBR 9648 (ABNT, 1986) determina que é um instrumento que visa auxiliar na proposição de arranjos viáveis economicamente, socialmente e tecnicamente.

De acordo com o Atlas esgoto da ANA (2017), os processos mais comuns encontrados no país incluem: lagoa anaeróbia seguida de lagoa facultativa (Figura 6), conhecido como sistema australiano, totalizando 364 estações de tratamento de esgoto (ETEs); reator anaeróbio isolado, com 328 unidades; tanque séptico associado a filtro anaeróbio, com 215 unidades; apenas lagoa facultativa, com 203 unidades; e reator anaeróbio seguido de filtro biológico, com 177 unidades identificadas. O sistema australiano é mais prevalente na Região Sudeste, enquanto os reatores anaeróbios são predominantes nas regiões Nordeste, Sul e Centro-Oeste.

Figura 6. Sistema Australiano

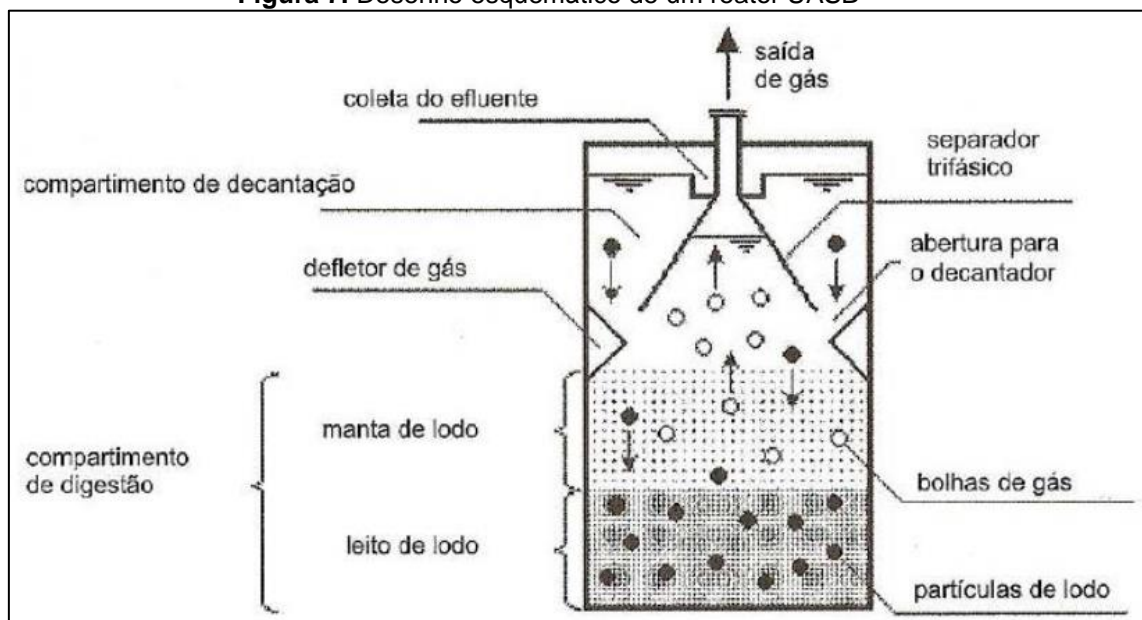


Fonte: Adaptado de Von Sperling (2002).

O tratamento por lagoas é caracterizado por uma operação simples e de baixo custo, porém requer uma grande área disponível para a sua implantação. Por outro lado, o sistema australiano necessita de uma área menor em comparação com lagoa facultativa utilizada de forma isolada, o que pode explicar o maior número de unidades adotando esse arranjo (ANA, 2017).

Os sistemas anaeróbios possuem suas vantagens por remoção de poluentes orgânicos, no entanto isoladamente não alcançam padrões de tratamento que atendam à legislação, necessitando de um pós tratamento (CHERNICHARO et al, 2001). Os reatores anaeróbios isolados vão produzir efluentes com ausência de oxigênio dissolvido, concentrações indesejáveis de amônia e sulfetos (MONTEGGIA; ALÉM SOBRINHO, 1999).

Figura 7. Desenho esquemático de um reator UASB

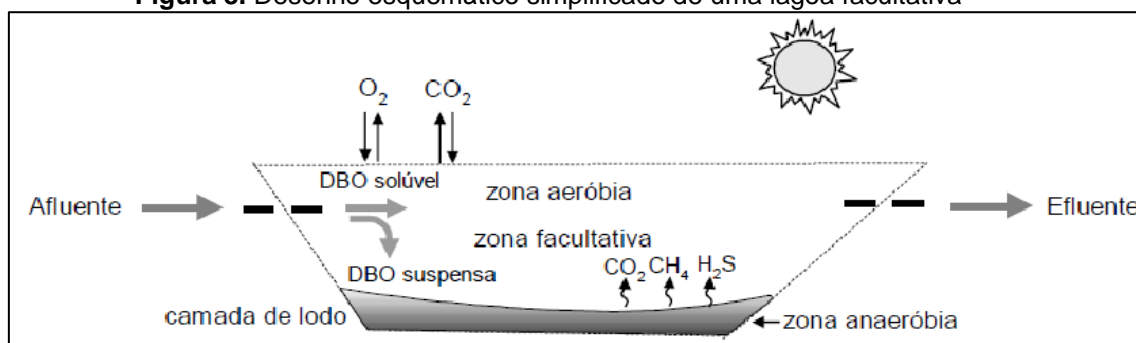


Fonte: CHERNICHARO (2007)

O esgoto flui ascendente no reator, permitindo que o fluido entre em contato com a massa de microrganismos presente no lodo, o que resulta na conversão da matéria orgânica em biogás. Na parte superior, há um separador trifásico que realiza a separação dos gases formados, o efluente clarificado e os sólidos sedimentáveis. Algumas outras limitações ainda incidem sobre esse sistema de tratamento, e merecem atenção. Por exemplo, a formação de espuma no separador de fases e perdas elevadas de sólidos em suspensão voláteis (FERRAZ, 2014; CABRAL et al., 2015).

As lagoas facultativas (Figura 8) recebem esse nome por criar condições que permitem o tratamento aeróbio e anaeróbio, o que terá como vantagem a redução de área para tratamento. Pode apresentar eficiência na remoção de matéria orgânica, nutrientes e patógenos. Entretanto Perígolo (2004), chama a atenção por existirem muitos métodos propostos, mas que quando são comparados, há uma grande variação nos resultados. O processo de depuração do efluente pode enfrentar problemas, como a taxa de tempo de detenção hidráulico (θ_h) e o volume máximo de projeto das lagoas, podendo gerar efluentes tratados de baixa qualidade.

Figura 8. Desenho esquemático simplificado de uma lagoa facultativa



Fonte: SPERLING (1996)

A lagoa facultativa degrada os esgotos em três zonas: aeróbia, facultativa e anaeróbia. A maior parte do oxigênio necessário para manter a camada superior das lagoas em condições aeróbias é proveniente da atividade fotossintética das algas. Outra parte, considerada insignificante, vem da reaeração resultante do contato com o ar e o vento na superfície das lagoas. Devido a grande concentração de algas, estas lagoas apresentam a cor esverdeada (VON SPERLING 1996).

No geral, o tratamento de efluentes, ainda é bastante deficitário no Brasil, o esgoto que é tratado, muitas vezes não apresenta a condição mínima necessária para manter a preservação da qualidade do corpo hídrico receptor, e esse fato, muitas vezes é devido a que a grande maioria das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) com lagoas de decantação, que necessitariam de um biotratamento, como tratamento terciário, que auxilie na retirada de nutrientes (SOUSA, 2019), não o têm.

2.5. Saneamento Ecológico

O saneamento Ecológico é constituído por uma variedade de Tecnologias Socioambientais (TSA) como, por exemplo, Sanitários Compostáveis (Banheiros secos), Fossas Biodigestoras, Tanques de Evapotranspiração (TEvap), Círculos de Bananeiras (CB), dentre outros. As tecnologias citadas se enquadram como Fossas Ecológicas por se tratarem de sistemas biológicos direcionados ao tratamento de esgoto doméstico utilizando-se de processos que ocorrem na natureza e além disso geram produtos reutilizáveis, como por exemplo composto, biofertilizante, água para reuso, produção de alimentos sobre ela e no entorno.

Apresentando uma abordagem alternativa à economia ambiental neoclássica, o saneamento ecológico prioriza a sustentabilidade diante dos atuais padrões de desenvolvimento, buscando uma economia circular. Essa perspectiva favorece o tratamento adequado e o aproveitamento dos dejetos humanos e animais como recursos valiosos, assegurando a salubridade ambiental e fechando o ciclo dos nutrientes de maneira equilibrada e eficiente (FONSECA, 2008). Ao contrário dos sistemas convencionais de saneamento, que são lineares e descartam o efluente após tratamento, o saneamento ecológico opta por reutilizá-lo, modificando e aproveitando o ciclo de nutrientes (GALLO, 2016).

Dessa forma, o saneamento ecológico reconhece a importância de uma gestão integrada, contribuindo para a conservação dos recursos naturais e o desenvolvimento de comunidades mais resilientes e sustentáveis, caracterizando-se com a sustentabilidade. Trabalhos como os já realizados por Paes (2014), Tonetti et al. (2018) e Oliveira (2020) exemplificam o uso de

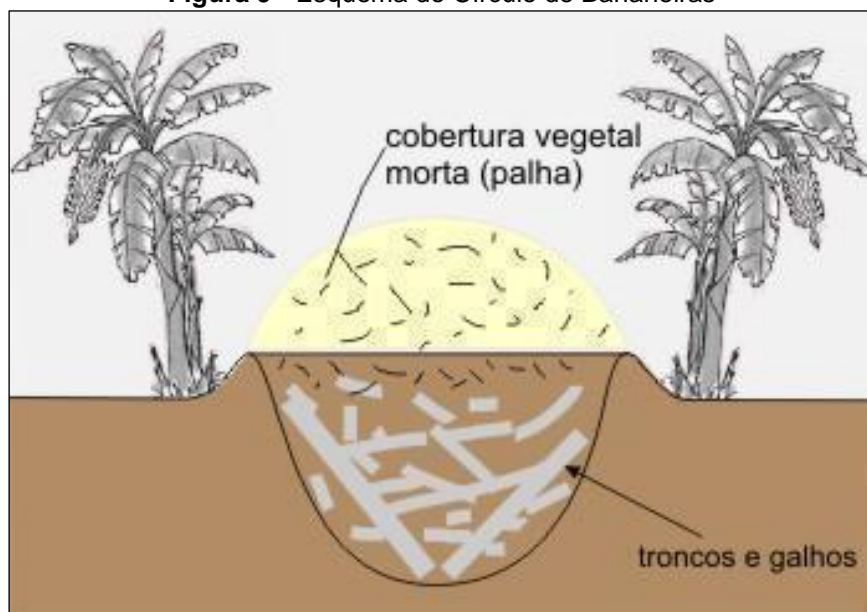
Tecnologias Socioambientais em comunidades, demonstrando resultados exitosos em termos de melhorias tanto para o meio ambiente quanto na produção de alimentos. Segundo a FUNASA (2017), essas práticas buscam fortalecer as comunidades locais, enfatizando a relevância do uso de tecnologias sociais, da capacitação local e da manutenção dos sistemas com a participação ativa das comunidades.

É comum, no saneamento ecológico, a segregação na fonte, ou seja, a separação das águas advindas do vaso sanitário das águas de lavagem, o que permite o tratamento prático e descentralizado dos diferentes tipos de efluentes domésticos, cada um com suas particularidades.

Dois modelos de Fossas Ecológicas são adotados para implantação com maior frequência na área rural: os Círculos de Bananeiras (CB) e os Tanques de Evapotranspiração (TEvap). Tais modelos são constantemente disseminados pela permacultura e promovidos por um projeto de extensão¹ da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), isso ocorre em decorrência da simplicidade construtiva e da gestão para a manutenção dos modelos elencados. O CB é destinado para as águas de lavagens, e o TEvap para as águas advindas do sanitário.

Quanto ao Círculo de Bananeiras (Figura 9), trata-se de um sistema simples, sem custo construtivo e operacional. Para a edificação deste é escavado em um terreno um buraco circular que será preenchido com galhos e restos de madeira ou similares até o limite da abertura, estes insumos servirão de substrato para a formação de biofilme que executará o processo de tratamento. Bactérias e fungos decompositores que compõem esse biofilme transformarão moléculas maiores em menores e em nutrientes que serão utilizados pelas bananeiras e outras plantas que poderão ser plantadas. As dimensões deste equipamento são 1m de diâmetro por 1m de profundidade. Não deve ser maior que isso e em caso de necessidade de maior área de tratamento, fazer mais na sequência, com um dreno de uns para os outros.

Figura 9 - Esquema do Círculo de Bananeiras



Fonte: Setelombas (2010)

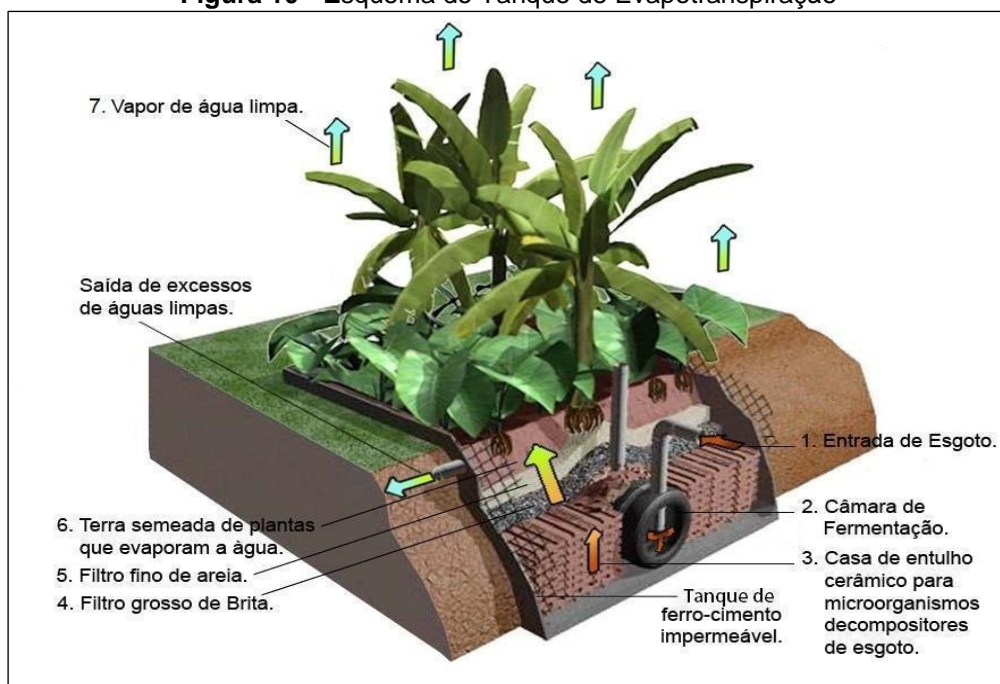
Sendo assim, as águas de lavagem após passarem por uma caixa de gordura devem ser direcionadas ao círculo, que será coberto com folhagens a fim de evitar que o mau cheiro característico seja emanado e também a presença de insetos como moscas e mosquitos. Em torno do círculo plantam-se bananeiras por estas possuírem alta capacidade de absorver água e evapotranspirar. Com relação aos cuidados, estes são reduzidos e direcionados ao manejo das bananeiras a exemplo: a retirada de bananas e dessas bananeiras que já produziram, a retirada de plantas em excesso e o reabastecimento do sistema com troncos e galhos à medida que estes substratos são decompostos em processo natural.

O Tanque de Evapotranspiração (Figura 10), também se trata de um sistema simples, todavia composto por mais processos durante o tratamento, a sua peculiaridade ocorre devido ao tipo de esgoto que é recepcionado para o tratamento, que demanda maior atenção devido à presença de patógenos nas águas nas águas do vaso sanitário – dejetos fecais. Para o TEVAP (Figura 10), deve-se realizar uma escavação retangular ou redondo/oval, no qual, como o nome da tecnologia sugere, será construído um tanque e este pode ser de alvenaria ou de tela e cimento como alternativa para a redução de custos de investimento.

O tanque precisa ser impermeabilizado, evitando qualquer percolação de esgoto no solo. Todo o esgoto direcionado para o interior do sistema será liberado apenas como água absorvida e evapotranspirada pelas plantas. Para essa finalidade, a fossa deve ser dimensionada conforme as diretrizes da permacultura, considerando 2m² por morador e 1,20m de profundidade. No entanto, Crispim (2023), em um projeto científico (ver nota de rodapé n. 2), observou que dimensões de 1,5m² por morador e 1,5m de profundidade são mais adequadas à realidade do estado da Paraíba.

Na base interior e central do tanque construído, é instalado um compartimento destinado à decomposição anaeróbia da matéria orgânica, conhecido como câmara de fermentação (CF). Essa câmara pode ser construída em alvenaria ou reutilizando pneus, posicionados de maneira longitudinal para formar uma espécie de túnel. A CF, ausente de oxigênio, proporciona condições ideais para a eliminação de patógenos. O esgoto que ingressa no sistema através da CF retém a fração sólida e possui aberturas que permitem o escoamento da parte líquida para o exterior, este preenchido com material cerâmico grosseiro (restos de construção civil) ou pedra será naturalmente colonizado por microorganismos que compõem um biofilme (CRISPIM et al., 2020), dando continuidade ao tratamento biológico do esgoto.

Figura 10 - Esquema do Tanque de Evapotranspiração



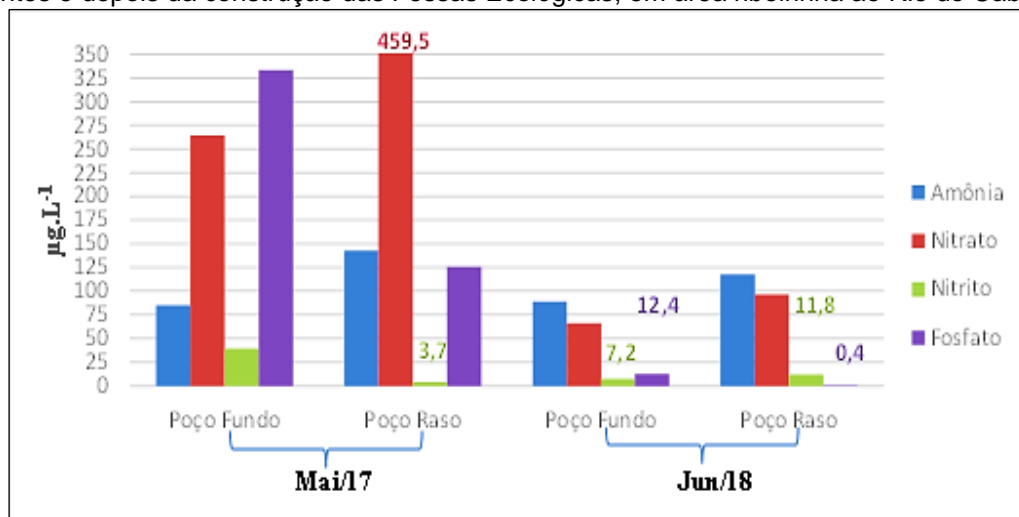
Fonte: Ecolventos (2022)

Devido ao sistema ser impermeável, por capilaridade o efluente irá ascender atravessando por outras camadas que irão filtrar e continuarão o tratamento de forma aeróbica, através do biofilme agregado nestas camadas. Nesse processo, por meio de nitrificação, a amônia presente no efluente será convertida em nitrito, e posteriormente em nitrato, forma na qual as plantas serão capazes de absorver o nitrogênio na forma de nitrato (VON SPERLING, 1996 *apud* GALBIATI, 2009). O produto final, será a produção de alimentos e a evapotranspiração de água para a atmosfera, contribuindo com o aumento de vapor de água no ar. As bananeiras são plantas propostas por produzirem alimento e por apresentarem uma grande taxa de absorção de água e evapotranspiração, mas outras plantas como as helicônias e *Strelitzias* spp. também podem ser utilizadas.

Ao fazer uso do Círculo de Bananeiras e o Tanque de Evapotranspiração Oliveira (2020), conseguiu demonstrar a eficácia dessas tecnologias no lençol freático, no qual um ano depois de implantadas as Fossas Ecológicas foram responsáveis pela diminuição em 4 vezes do nitrato, 5,4 vezes do nitrito, e 26,9 vezes do fosfato em águas de poços com 30 m e 12 m de profundidade, destinada ao abastecimento humano (Figura 11).

A amônia e nitrito são compostos tóxicos (JOOSSENS et al., 1996; CHUN-YUH et al., 2000) e o nitrato apesar de não ser tóxico ao passar pelo trato digestivo se transforma em nitrito que é tóxico e cancerígeno (WRIGHT & DAVISON, 1964), agindo as Fossas Ecológicas dessa forma como prevenção ao câncer do trato digestivo ao reduzir a presença desses compostos na água de consumo. Visto que nenhum efluente é lançado no ambiente para o solo e água subterrânea, conservará as águas de poço da contaminação por nutrientes, que é o que ocorre na atualidade

Figura 11 - Concentrações Químicas presentes na água de poço raso (12m) e fundo (30m) antes e depois da construção das Fossas Ecológicas, em área ribeirinha ao Rio do Cabelo



Fonte: Oliveira, (2020)

Os Wetlands Construídos (WC), trata-se também de uma tecnologia baseada nas soluções da natureza, bastante estudada desde os anos 2000. Os sistemas são alagados construídos tendo como principais vantagens em relação aos sistemas convencionais o baixo custo de implantação e operação e a alta eficiência na remoção de nutrientes, poluentes e contaminantes fazendo uso de plantas (PERONDI et al., 2020).

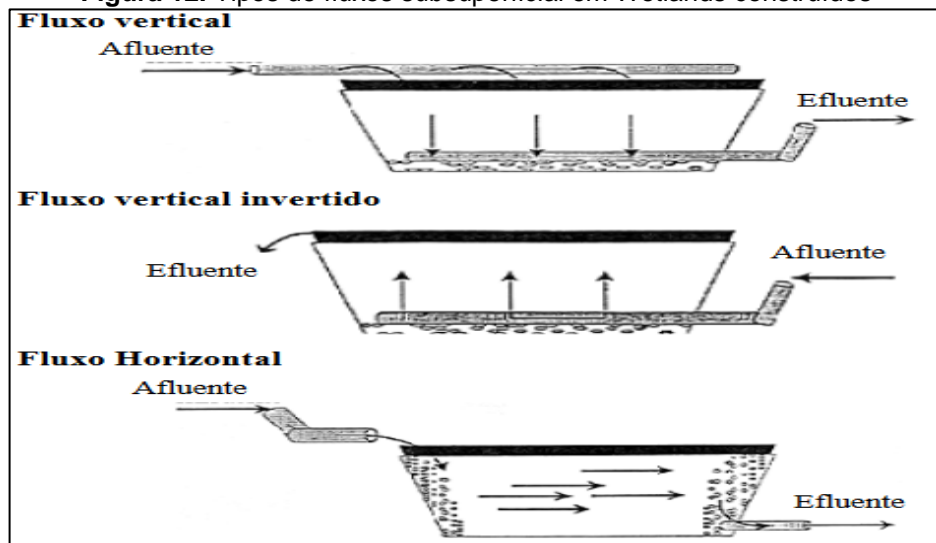
Essa tecnologia no Brasil é bastante referenciada pelo próprio termo em inglês wetlands (terras úmidas), sendo comum também o uso de outros termos como, Zona de Raízes, Zona Úmidas, Tanque de Macrófitas, entre outros (TEIXEIRA, 2021).

No tratamento, microorganismos aeróbios e anaeróbios se aderem ao meio de suporte, onde as plantas são estabelecidas ou fixadas. A rizosfera, que é a região em que o solo e as raízes das plantas entram em contato, juntamente com outras partes submersas das plantas, desempenha um papel crucial como mecanismos de filtragem física da água. Além disso, a biota presente nessa região, composta por macrófitas, microflora e microfauna, desempenha um importante papel na absorção de nutrientes e na degradação da matéria orgânica das águas residuais. Essa ação biológica favorece a ciclagem de nutrientes e do carbono (KADLEC e WALLACE, 2008).

O sistema é utilizado para diversos tipos de águas residuárias, em diferentes arranjos e formas, com variados tipos de materiais filtrantes

(SEZERINO et al., 2015) Algumas variações nos seus arranjos, podem ser quanto ao fluxo que o esgoto segue pelo sistema (Figura 12), quanto pela forma que as plantas estão dispostas (Figura 13), ou pelo tipo de camadas filtrantes.

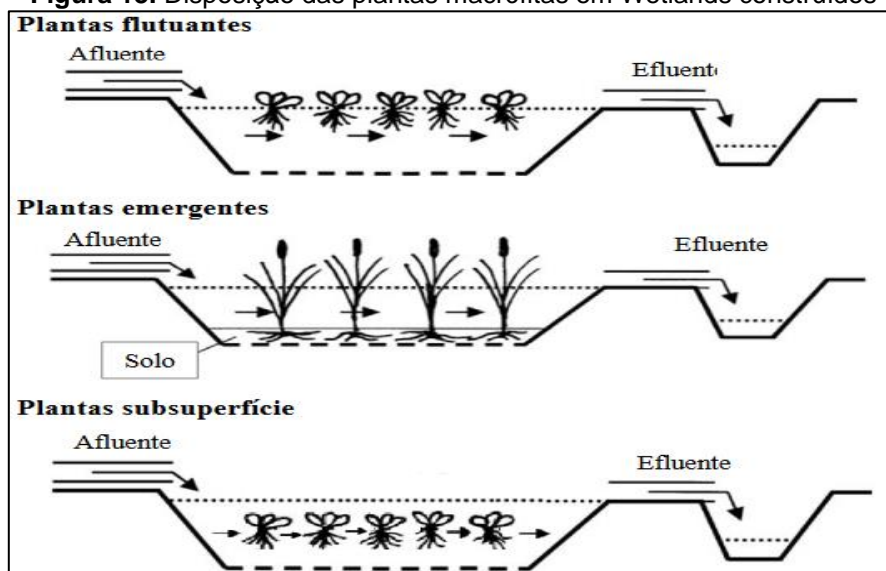
Figura 12. Tipos de fluxos subsuperficial em Wetlands construídos



Fonte: TEXEIRA (2021), adaptado de DIAS (1998).

Segundo Perondi et al. (2020), os wetlands construídos de fluxo vertical podem atingir maior eficiência do que os de fluxo horizontal devido, principalmente, à disponibilidade de oxigênio e às interações de sorção, que podem ser favorecidos pelo tempo de retenção hidráulico e sobrecarga do sistema.

Figura 13. Disposição das plantas macrófitas em Wetlands construídos



Fonte: TEXEIRA (2021), adaptado de VYMAZAL (2007)

2.6 Água de reuso

O reuso de água pode ocasionalmente ser confundido com água de reuso; no entanto, há uma diferença sutil entre os dois, em que a água de reuso representa uma das duas modalidades do reúso da água. O reúso da água é categorizado em água de reuso e água reciclada (MOURA, 2020). A água reciclada tem sua origem no aproveitamento da água pluvial, ou seja, diferente da água de reuso após passar pelo ciclo hidrológico natural, essa água captada terá sua primeira utilização (FERNANDES, 2006).

Ambas as modalidades podem ser consideradas ferramentas para a gestão de recursos hídricos, especialmente em regiões sujeitas à escassez de água. A prática de reuso, em particular, tem o potencial de aprimorar a convivência com a seca. Contudo, mesmo em regiões que não enfrentam esse problema, a adoção dessa prática torna-se interessante para diminuir a pressão de demanda sobre os mananciais. Além disso, contribui para reduzir a propensão à contaminação desses recursos, o que, por sua vez, diminui os custos associados ao tratamento necessário para o abastecimento.

Em se tratando da classificação de água de reuso, quanto à forma de aproveitamento, destaca-se no Brasil a ABNT nº 13.969, de 1997 (ABNT, 1997). No quadro 2, é possível observar essa classificação.

Quadro 2. classificação de água de reuso, quanto à forma de aproveitamento

CLASSIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO
Reuso Local	Efluentes domésticos ou semelhantes, após tratamento, podem ser reaproveitados para fins que requerem água não potável, mas com qualidade sanitária, como irrigação, lavagem de pisos e veículos, descargas de vasos sanitários, manutenção paisagística de lagos, canais, pastagens, entre outros. O reúso pode variar desde a simples recirculação de água de enxágue da máquina de lavagem, com ou sem tratamento para descarga em vasos sanitários, até a remoção avançada de poluentes para lavagem de carros.

Reuso Direto	Efluentes tratados são direcionados intencionalmente para o local de reúso de maneira planejada.
Reuso Indireto	Efluentes, tratados ou não, são liberados em corpos de água superficiais ou subterrâneos. Sua captação pode ocorrer de maneira planejada ou não a jusante, estando sujeitos às ações naturais do ciclo hidrológico, como depuração e autodepuração.

Fonte: ABNT, (1997)

Em ambas as modalidades de reúso, seja no "reuso direto" ou "reuso indireto", é essencial monitorar padrões de qualidade que não representem ameaças à saúde e ao meio ambiente, uma vez que a contaminação por patógenos pode ocorrer em qualquer situação de reúso. Apesar da falta de legislação específica garantindo qualidade sanitária em termos colimétricos e físicos e químicos para as diversas finalidades da água de reúso, a atenção rigorosa à qualidade continua sendo fundamental.

Ainda sobre normatizações para aplicação da água de reuso, a nível nacional, o Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH), estabelece a resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005 dividindo o reuso direto não potável da água em cinco modalidades:

- I. Reuso para fins urbanos;
- II. Reuso para fins agrícolas e florestais;
- III. Reuso para fins ambientais;
- IV. Reuso para fins industriais;
- V. Reuso na aquicultura.

No entanto, esta regulamentação é consideravelmente incipiente, uma vez que não fornece orientações específicas quanto aos métodos a serem adotados para a análise do efluente. Além disso, não estabelece os limites máximos permitidos para os parâmetros físicos, químicos e biológicos que são essenciais para um enquadramento mais apropriado do reuso.

Quando se avalia a legislação sobre reúso de água em diferentes regiões, observa-se que, em geral, ainda há uma escassez significativa de regulamentações específicas. Entretanto, é digno de nota o estado do Ceará, que se destaca por possuir uma legislação mais abrangente sobre o assunto. A Lei n.º 16.033 de 2016 (GOVERNO DO ESTADO DO CEARÁ, 2016), propõe critérios específicos, viabiliza e incentiva a prática do reúso de água no estado.

Do ponto de vista agrícola, as águas residuárias apresentam a vantagem de reduzir os custos associados à fertilização das culturas, uma vez que essas águas contêm uma riqueza significativa de nutrientes, e o solo, por sua vez, desempenha o papel de um biofiltro natural (HARUVY, 1997). O Brasil, enquanto nação, possui o potencial de se tornar uma referência nesse âmbito, dado que sua base econômica predominante é a agricultura. Além disso, o país é dotado de um vasto potencial hídrico que necessita ser preservado, especialmente considerando a crescente pressão de demanda por recursos hídricos nas áreas urbanas. Essa convergência de fatores ressalta a importância estratégica do gerenciamento sustentável das águas residuárias, não apenas para a agricultura, mas também para o equilíbrio ambiental e a segurança hídrica em ambientes urbanos.

2.8. Sistema TEWetland

O sistema TEWetland foi idealizado por membros do projeto de extensão "Saneamento Básico Ecológico como forma de diminuir os impactos aos corpos hídricos e lençol freático", por volta de meados de 2020, durante o início da pandemia de Covid-19. A concepção inicial do sistema surgiu em colaboração com o Laboratório de Ecologia Aquática (LABEA) da UFPB. A motivação para sua criação originou-se da necessidade identificada na cidade de Bananeiras – PB, que buscava soluções para o tratamento do esgoto proveniente de 610 imóveis localizados no centro da cidade. O objetivo era retirar esse esgoto do canal e do rio, visando reduzir a poluição ambiental e proporcionar um tratamento adequado.

Dado que o esgoto coletado abrangia tanto águas advindas de descargas sanitárias quanto de lavagens, oriundas de fontes coletivas, surgiu a necessidade de evoluir os sistemas propostos pela permacultura, como os

Tanques de Evapotranspiração (TEvap) e Círculos de Bananeiras (CB). No entanto houveram mudanças na gestão, que implicaram que o projeto não tivesse continuidade.

Mais adiante, em 2021 através do Instituto Acuña, foi realizado uma parceria entre a Prefeitura de Ingá, a Universidade Federal da Paraíba e o instituto, com o intuito de resolver o problema de esgoto que corria a céu aberto no prédio da Secretaria de Saúde devido a fossas estouradas. Dessa forma, deu-se início à construção dos primeiros protótipos.

Com a boa qualidade do efluente que surgia do primeiro módulo (TEvap modificado), a Prefeitura de Ingá desistiu da construção do segundo módulo (Wetland), sendo analisado ao longo de mais de um ano o efluente apenas do primeiro módulo.

No mesmo ano deu-se início ao processo de patente da tecnologia, através do INOVA (Agência UFPB de Inovação Tecnológica). Em 2022 a FUNASA-PB ao conhecer a tecnologia se interessou em financiar a implementação da tecnologia em 4 municípios do estado da PB, em caráter de pesquisa para ver como o TEWetland se comportaria em condições de clima e solo diferentes. Deu-se início à mobilização nessas cidades, no entanto com a mudança de gestão federal foi cancelado esse projeto tão importante, com o anúncio do encerramento dessa instituição.

Antes de ser cancelado o projeto, a FUNASA-PB possibilitou que o segundo módulo (Wetland) fosse construído, finalizando a construção dos dois protótipos de forma integral no Município de Ingá, TEWetland UPA, e TEWetland SAMU no primeiro trimestre de 2023.

A FUNASA-PB deu visibilidade à tecnologia, permitindo que no fim do ano de 2022, fosse apresentado o sistema em Roraima, como possibilidade de tratamento do esgoto de escolas rurais do município de Rorainópolis-RR, com a participação da FUNASA-PB e UNICEF.

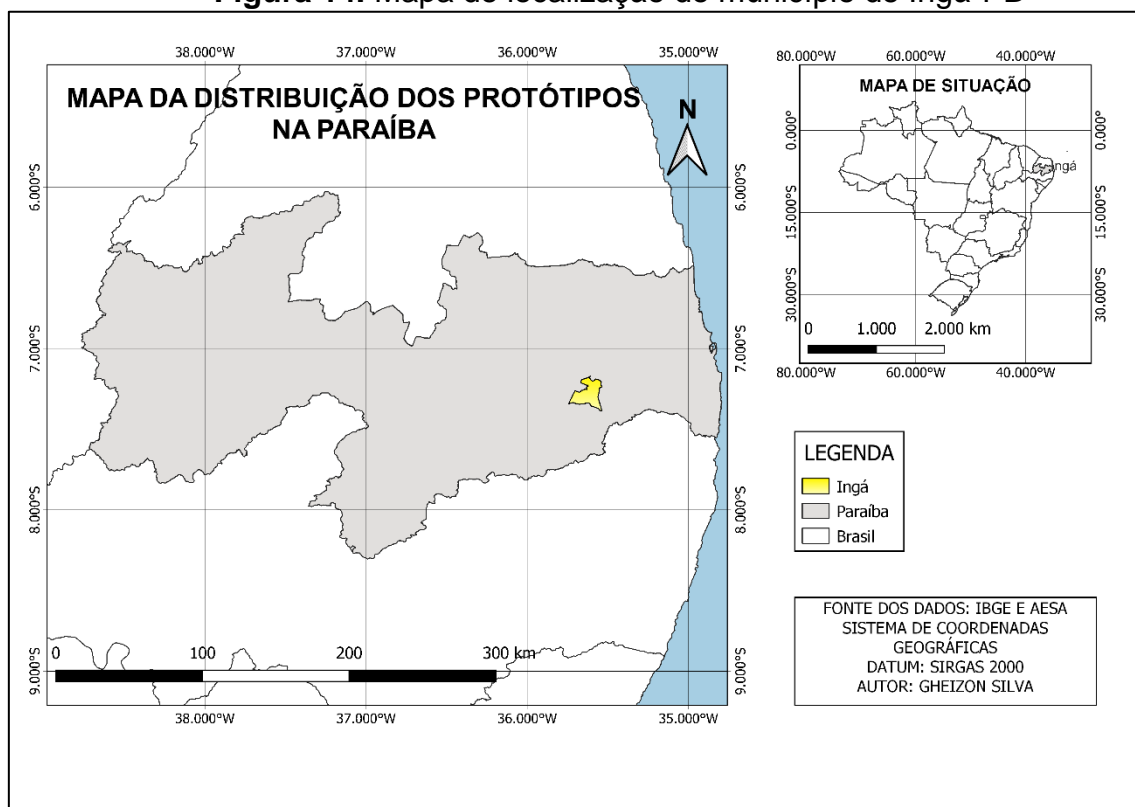
3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

Os protótipos de TEWetland foram construídos no município de Ingá – PB, devido ao gestor local demonstrar interesse em aplicar essa tecnologia para atender a demanda de esgoto da Unidade de Pronto Atendimento (UPA) e a Secretaria de Saúde da cidade. Ingá fica localizado a 95,6 Km de distância da capital João Pessoa e encontra-se na região do semiárido. Possui uma população estimada em 18.184 habitantes (IBGE, 2021) e esgotamento sanitário adequado de 5,1% (IBGE, 2010). Segundo informações da Secretaria de Saúde, o consumo médio de água da UPA é de 112m³ por mês, todo o efluente era direcionado para uma fossa séptica, no entanto em poucos dias ultrapassava a capacidade de suporte da fossa, e o esgoto era externalizado, criando um lamaçal na parte de trás do seu terreno, gerando mau odor e atraindo vetores de doenças.

Através do Instituto Acuña e da Prefeitura Municipal de Ingá foi possível ser construído o primeiro módulo (TEVAP) dos protótipos, e através da FUNASA/PB, a construção do segundo módulo (Wetland), havendo um espaço de tempo de aproximadamente um ano entre a construção dos dois.

Figura 14. Mapa de localização do município de Ingá-PB



Fonte: Autor (2023)

3.2. Protótipos

3.2.2. Concepção da tecnologia

Pretendeu-se projetar um TEvap (Fig. 15) com dimensões mínimas, que garantam um tempo de residência do efluente suficiente para a eficácia do tratamento anaeróbio na câmara de fermentação, e complementar com a Wetland artificial (Fig. 16) (denominando-se TEWetland). Diferentemente dos TEvap propostos pela permacultura que objetiva a evapotranspiração total do efluente, com o TEWetland se concebe dimensões proporcionalmente menores, para que haja um excedente para além do que é absorvido ou evapotranspirado, além disso, tratam-se os dois tipos de águas junto (do sanitário e lavagens).

Para a estimativa do dimensionamento do TEWetland foram construídos inicialmente dois protótipos, de forma a comparar a qualidade de água dos seus efluentes e assim verificar se há uma diferença significativa no tratamento entre eles. Os dois possuem dimensões e contribuições de esgoto distintas.

Figura 15. Protótipo - Primeira Unidade do Sistema TEWetland



Foto: Cristina Crispim (2021)

Figura 16. Protótipo - Segunda Unidade do Sistema TEWetland

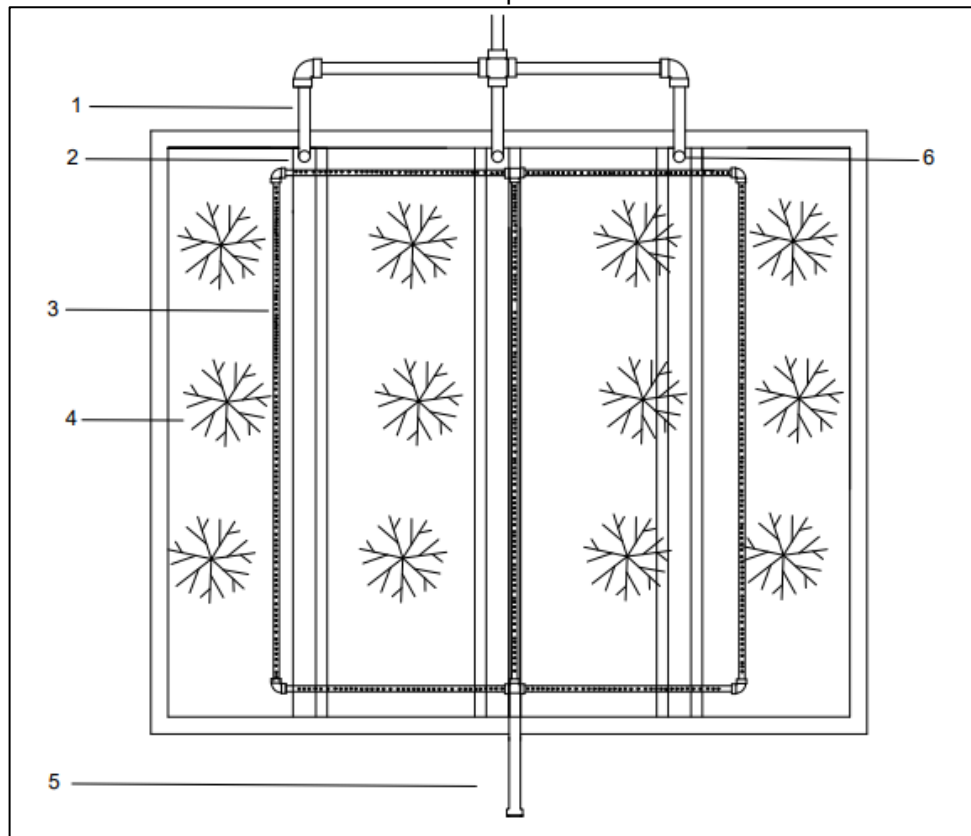


Foto: Cristina Crispim (2021)

Ambos os protótipos TEWetland UPA e TEWetland SAMU, são compostos pelos seguintes elementos enumerados e representados nas figuras abaixo:

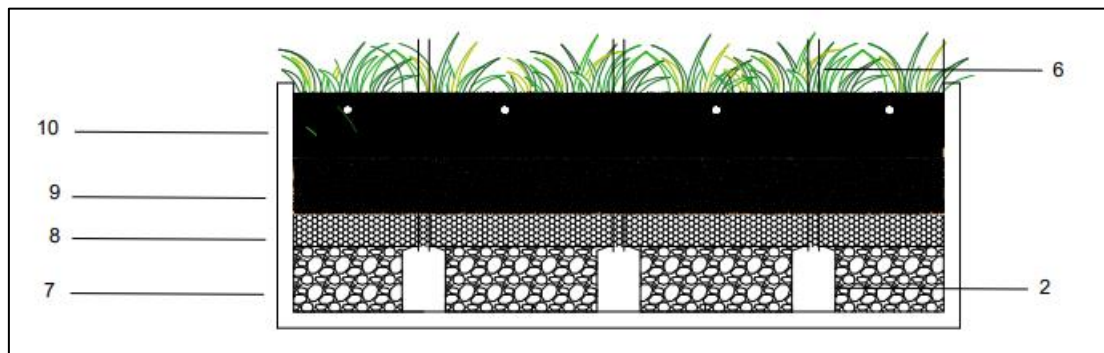
- módulo 1: conta com tubulações (100mm) para entrada do esgoto (1), as câmaras de fermentação (2), tubos de drenagem (50mm) (3), plantas (4), tubulação da saída do esgoto para o wetland (50mm) (5), tubos para exaustão dos gases e de inspeção das câmaras (100mm) (6), camada de metralha (7), camada de brita (8), camada de areia (9), camada de solo fértil (10) (Ver figura 17 e 18).

Figura 17. Enumerações dos elementos presentes no módulo 1 do TEWetland em vista superior



Fonte: Autor (2023)

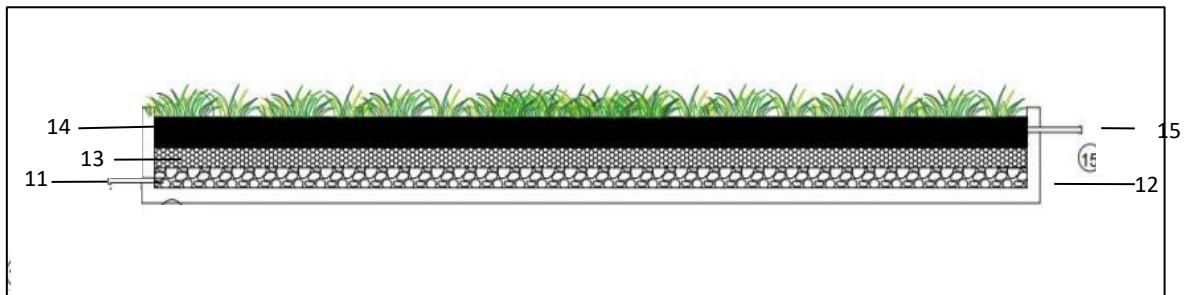
Figura 18. Enumerações dos elementos presentes no módulo 1 do TEWetland em vista trasnversal



Fonte: Autor (2023)

- Módulo 2: pode-se observar o tubo de entrada do esgoto no wetland (11), a camada de pedras (12), camada de brita (13), camada de areia (14), tubo de saída do efluente tratado (15) e as plantas (16) (Ver figura 19).

Figura 19. Enumerações dos elementos presentes no módulo 2 do TEWetland em vista transversal



Fonte: Autor (2023)

3.2.2.1 Dimensionamento

O consumo médio de água do prédio da UPA é por volta de 112m^3 por mês e do prédio do SAMU 37m^3 . Como o intuito do TEWetland, é gerar um efluente para reuso e um dos objetivos desse trabalho é indentificar o melhor dimensionamento para este fim, inicialmente foi proposto duas dimensões distintas para serem confrontadas.

Para poder de comparação do 1º módulo do Tewetland (TEVAP) com os sistemas TEVAP proposto pela permacultura que demanda uma área de 2m^2 por pessoa, converteu-se o volume de contribuição mensal de esgoto para quantidade de pessoas com contribuição diária de 100L, que é a forma utilizada para o dimensionamento dessas fossas. (Quadro 3).

Foi proposto para o primeiro módulo do TEWetland da UPA, dimensões internas de $5,00\text{m} \times 4,00\text{m} \times 2,00\text{m}$ (Comp. x Larg. x Prof.) totalizando 20m^2 e 40m^3 (Figura 20 e 21).

O TEWetland do SAMU, por ter um volume de consumo de água menor foi concebido um TEWetland menor, com as dimensões internas de $4,00\text{m} \times 4,00\text{m} \times 1,50\text{m}$ (Comp. x Larg. x Prof.) totalizando uma área de 16m^2 e um volume de 24m^3 (Figura 22 e 23). No entanto, por receber um volume de esgoto de cerca de $1/3$ do volume de esgoto da UPA, este equipamento é proporcionalmente maior, no entanto nos últimos anos, uma nova edificação foi unida a este TEWetland.

Quadro 3. Área necessária para tratamento de esgoto TEWetland x TEVAP

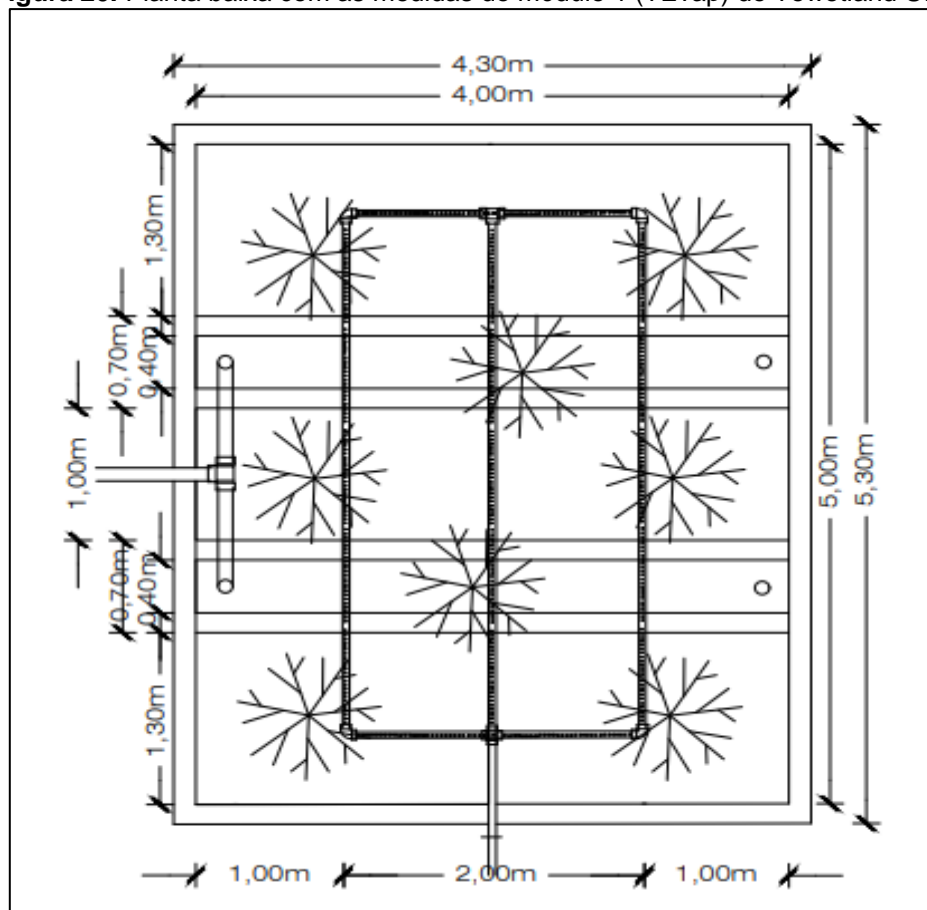
SISTEMAS	CONTRIBUIÇÃO (m³)	QUANT. PESSOAS	ÁREA (m²)
TEVAP - TEWetland UPA	112	37	20
TEVAP – Permacultura	112	37	74
TEVAP – TEWetland SAMU	37	12	16
TEVAP – Permacultura	37	12	24

Fonte: Autor (2024)

Analisando a área do protótipo construído proporcionalmente com a área necessária para as fossas propostas pela permacultura, percebe-se uma redução de 73% da área ocupada pelo primeiro módulo do TEWetland da UPA, e uma redução de 33% para o do TEWetland do SAMU.

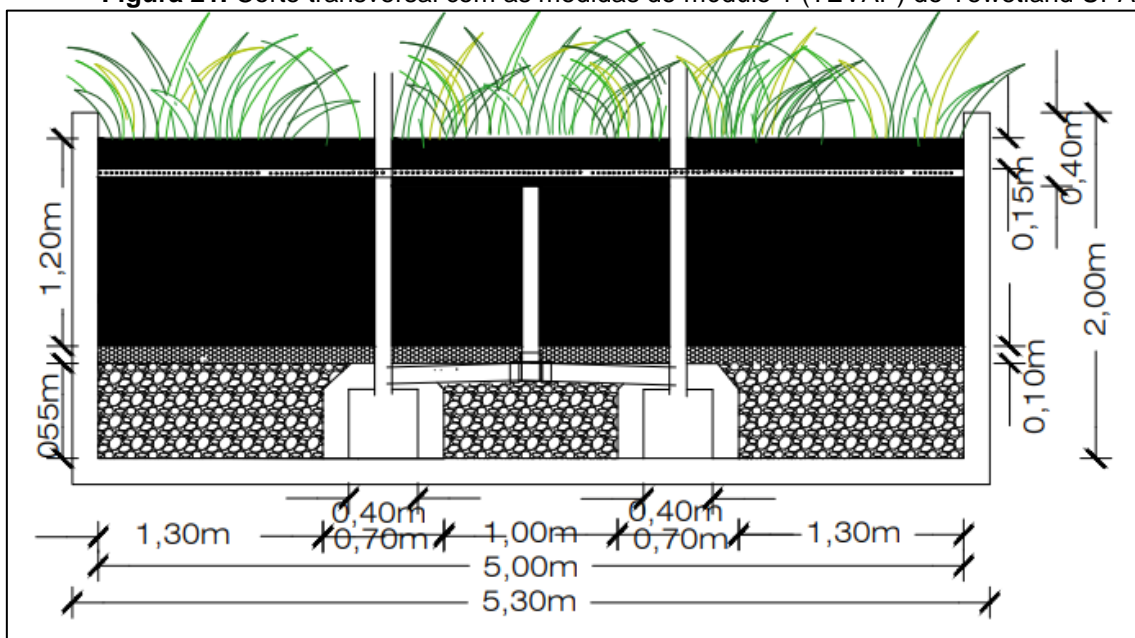
Para ambos os protótipos, o segundo módulo possui as dimensões internas de 10,00m x 1,00m x 1,00m (Comp. x Larg. x Prof.) totalizando 10m² e 10m³ (Figura 24).

Figura 20. Planta baixa com as medidas do módulo 1 (TEvap) do Tewetland UPA



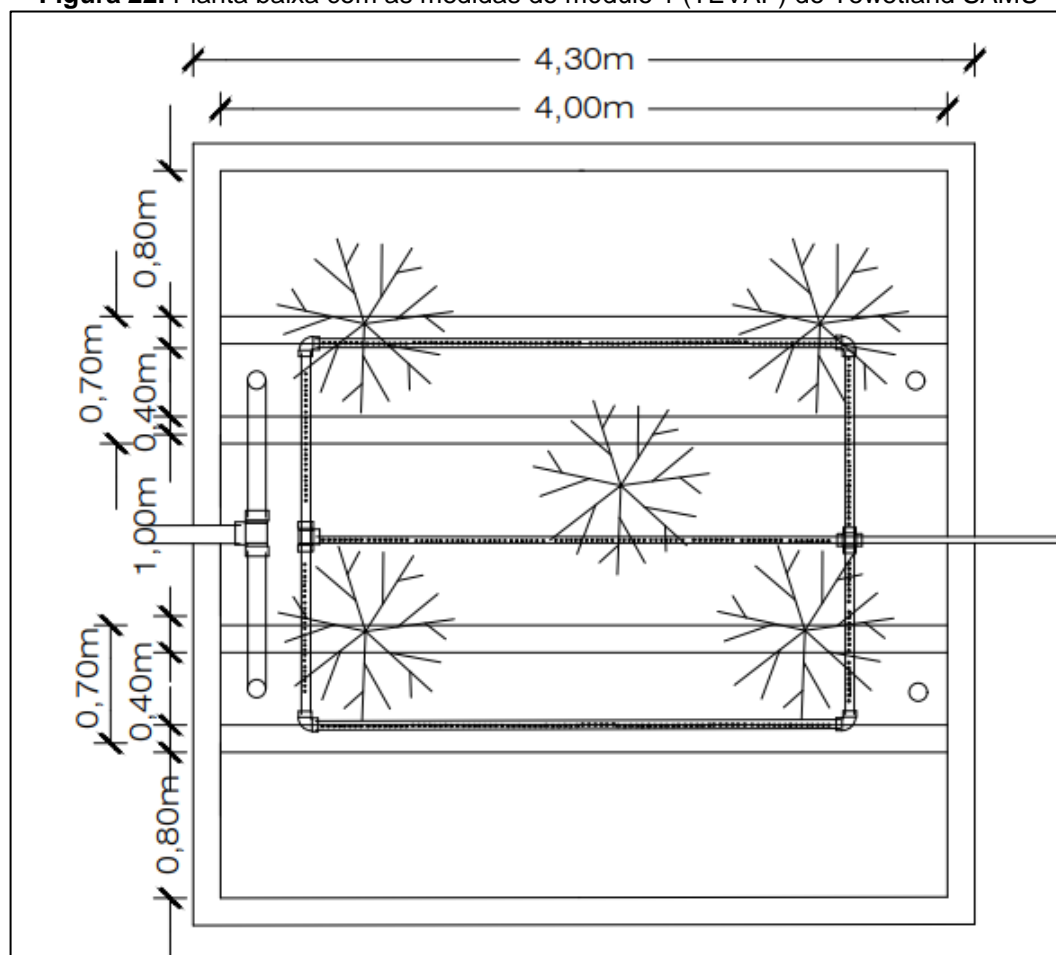
Fonte: Autor (2023)

Figura 21. Corte transversal com as medidas do módulo 1 (TEVAP) do Tewetland UPA



Fonte: Autor (2023)

Figura 22. Planta baixa com as medidas do módulo 1 (TEVAP) do Tewetland SAMU



Fonte: Autor (2023)

Technical drawing of a rectangular floor slab. The overall dimensions are 10,30m in length and 1,30m in width. The slab is reinforced with a grid of bars, with a central section of 10,00m by 1,00m. The drawing shows the layout of the reinforcement bars, including the spacing and the location of the central section.

Technical drawing of a rectangular pond cross-section. The pond is 10.00m wide and 0.20m deep. It has a 0.05m wide and 0.40m high concrete curb on the left side. The bottom is covered with a layer of gravel (0.10m thick) and a layer of sand (0.10m thick). The right side is a 0.30m high concrete wall. The pond is filled with water and has grass on the left bank.

52

parasitas) foram analisados inicialmente a cada 15 dias e depois mensalmente, tanto o efluente que sai do 1º módulo, quanto o efluente final que sairá pelo 2º módulo, para investigar a eficiência na remoção de nutrientes e contaminantes em cada etapa. Como até o momento ainda não saiu efluente do módulo 2 Wetland, não serão apresentados dados sobre esse efluente final.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Ecologia Aquática (LABEA), localizada no Centro de Ciências Exatas e da Natureza (CCEN), na Universidade Federal da Paraíba, Campus I, João Pessoa - PB.

3.3.1. DBO e DQO

O teste de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e de demanda química de oxigênio (DQO) são usados para determinar os requisitos relativos de oxigênio no efluente e como medida de poluentes nas águas respectivamente.

O efluente do TEWetland em cada um dos módulos, foi coletado em garrafas de vidro de 300 mL, devidamente etiquetadas, com boca alargada e rolha de vidro fosco, para evitar contaminação por oxigênio ambiental. Os procedimentos metodológicos, estão descritos em APHA (2017), e será pelo método de incubação por 5 dias a 20°C. Estas análises foram realizadas pela empresa Consta, em parceria com o Laboratório de Ecologia Aquática (LABEA) da UFPB.

3.3.2. Análises físicas e químicas

As análises físicas (Temperatura, Condutividade e pH,) e químicas (OD) foram feitas *in locu* através de uma sonda multiparamétrica nos mesmos pontos de coleta. As amostras de água foram coletadas em um balde e em 3 réplicas em cada amostragem.

A água para análise de compostos nitrogenados (amônia, nitrito e nitrato) e fosfatados (ortofosfato) foi coletada em três réplicas na saída de cada módulo, armazenada em garrafas de polietileno de 500 mL devidamente etiquetadas e acondicionadas em caixa térmica com gelo, até chegar ao Laboratório de Ecologia Aquática da UFPB e ser analisada por método colorimétrico descritos em APHA (2017) através de aparelho Espectrofotômetro, SPECTRUMLAB

22PC. No quadro 2 segue a metodologia aplicada. A água foi filtrada em filtros GF-C com o auxílio de uma bomba a vácuo. As amostras filtradas foram congeladas até a realização da sua análise.

Quadro 4. Métodos utilizados para os compostos nitrogenados e fosfatados.

VARIÁVEIS QUÍMICAS	METODOLOGIA
Amônia	Método do indofenol
Nitrito	Método N-(1-naftil)-etilenodiamina
Nitrato	Método N-(1-naftil)-etilenodiamina
Ortofosfato	Método Azul de Molibdenio

Fonte: Elaborado pelo autor (2023)

3.3.3. Análises microbiológicas

Foi coletado o efluente que sai pelo módulo 1 do TEWetland em frascos esterelizados, devidamente etiquetados e levados ao laboratório. Estas análises foram realizadas pela SUDEMA em parceria realizada com o LABEA

O método padrão para o exame de água e águas residuais está descrito em APHA (2017) e para contagem dos microorganismos foi utilizado a técnica do NMP (Número Mais Provável) que permitem avaliar estatisticamente a quantidade de microrganismos presentes em uma amostra e estimar a proporção viável metabolicamente ativa.

3.3.4. Análises parasitológicas

Foi coletado em recipientes plásticos de 2L devidamente higienizados e etiquetados, o efluente que sai do módulo 1 do TEWetland, sendo encaminhados ao laboratório para análise. Inicialmente as análises foram realizadas no Laboratório no CCS/UFPB e posteriormente no LABEA/UFPB.

Para as análises foram realizadas as técnicas de Faust e de Ritchie, baseadas nos princípios de flutuação e sedimentação, respectivamente, com lâminas observadas em microscópio óptico, nas objetivas de 10x e 40x.

3.4. Análises estatísticas

Primeiro foi realizado a análise de homocedasticidade dos dados, utilizando o teste Levene. Este indica se os dados apresentam distribuição regular ou não, ressaltando que os dados são dependentes para cada parâmetro. Para os dados homogêneos foi realizado o Test T pareado, já para os dados de distribuição não normal foi utilizado o teste Wilcoxon. Para a realização desses testes foi utilizado o software R.

MOBILIZAÇÃO SOCIAL

Realizaram-se reuniões para apresentação do projeto e para fornecer informações sobre os cuidados necessários com as fossas, destacando especialmente a atenção aos produtos químicos utilizados nos prédios. Além disso, promoveu-se uma oficina com os pedreiros durante o processo de construção, com o objetivo de instruí-los sobre a metodologia, explicar a função de cada componente e permitir que se apropriassem da tecnologia, capacitando-os para replicar a técnica.

Referente ao reuso da água foram discutidas propostas, considerando as necessidades específicas do prédio e os interesses da gestão municipal. Uma das sugestões apresentadas foi a utilização da água para irrigação de um espaço verde a ser implementado, servindo de área coletiva destinada ao descanso e integração dos funcionários do prédio, bem como para os pacientes que aguardam consultas.

Outro ponto abordado considerou os gastos da gestão municipal relacionados ao consumo de água. Nesse contexto, foi sugerida a construção de um reservatório para armazenar a água de reuso, destinando-a à irrigação de jardins e praças públicas. Essa proposta envolveria a construção do reservatório e a implementação de monitoramento contínuo da qualidade da água armazenada, permitindo eventuais tratamentos complementares, se necessários.

Entretanto, até a data da redação deste trabalho, em janeiro de 2024, as propostas para o reuso da água não foram efetivamente implementadas. Até o momento, o efluente está sendo apenas lançado no ambiente, sem que as medidas propostas tenham sido postas em prática.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Mobilização Social

A mobilização ocorreu em duas fases e para dois públicos distintos, gestores e funcionários dos prédios (UPA e SAMU), e a equipe responsável pela construção dos protótipos. A mobilização e as ações de educação ambiental ocorreram em duas fases, devido ao tempo considerável da construção dos módulos, primeiro módulo (setembro de 2021) e segundo módulo (março de 2023). Em algumas dessas ações também houve a participação dos parceiros Mulheres Sustentáveis, Instituto Acuña e FUNASA-PB (Figuras 26 e 27).

Foi de suma importância a realização desses momentos, seja para que a equipe da construção compreenda a concepção dos protótipos, as etapas construtivas, entendendo o porque de cada etapa, e no que contribui para o processo do tratamento, bem como, os gestores e funcionários dos prédios, para que possam se sentir pertencentes nesse processo e se empoderarem da tecnologia, entendendo os cuidados necessários para não comprometer o bom funcionamento do sistema.

Figura 26. Roda de conversa em campo com a equipe construtiva, em Ingá-PB.



Foto: Cláudia Trindade (2021)

Figura 27. Ação junto a equipe gestora e funcionários dos prédios, em Ingá-PB.



Foto: Roseane (2023)

Como o tratamento ecológico de esgoto, é realizado por seres vivos (bactérias, fungos e protozoários), há a necessidade de se gerenciar o próprio esgoto gerado, de forma a que o mesmo não tenha a presença de produtos químicos fortes, que poderão afetar o biotratamento. Dessa forma, as pessoas foram informadas de quais produtos que poderão ou não usar, e entender o seu

efeito na fossa ecológica. Havendo a compreensão de que são organismos vivos que irão fazer o tratamento de esgoto e que eles têm limites de tolerância a determinados produtos tóxicos, como por exemplo soda cáustica, ácido muriático, K-otrine, etc.

É importante que qualquer Tecnologia Socioambiental, por melhor que seja, que se pretende implementar como alternativa seja tanto viável para a realidade local quanto seja bem acolhida pelas pessoas que fazem uso dos benefícios, para que estas possam funcionar de forma efetiva.

Em outros casos, que vão além das fronteiras dos prédios públicos, e que venham atender a populações vulneráveis quanto ao saneamento, será essencial compreender e atuar observando a existência de particularidades que podem acentuar o cenário de vulnerabilidades entre os diferentes atores considerando os recortes de gênero, faixas etárias, educação, região e também o fator econômico com vistas à disponibilidade de recursos. A ação de enxergar os níveis de desproteções fornece elementos importantes tanto ao planejamento como à oferta de ações exitosas e de impacto sobre o nó crítico que se aborda.

A exemplo dessas particularidades, estudos como o de Silva (2017) apontam que as meninas e mulheres do campo assumem as atividades domésticas, e diante da escassez hídrica tornam-se responsáveis pelo abastecimento doméstico, bem como do manejo dos efluentes gerados, expondo estas a uma maior vulnerabilidade. Isso implica também na interação social e no desempenho de atividades econômicas, sejam estas em suas residências ou externas.

4.2. Construção

Para a construção dos protótipos, escolheram-se locais do terreno com maior incidência do sol durante todo o dia, que a declividade contribuisse para o escoamento dos esgotos e de menor distância possível dos prédios, para evitar gastos excessivos com a tubulação do transporte.

Os Tanques de Evapotranspiração foram dimensionados, de acordo com a contribuição de esgoto dos prédios, alguns estudos empíricos e da experiência

de trabalhar com essa tecnologia. Para o protótipo do SAMU tem-se em média uma contribuição de 37m³ mensais, e para o protótipo UPA 112m³.

Para a escavação dos protótipos foi definido as dimensões internas de 4,00m x 4,00m x 1,50m (Comp. x Larg. x Prof.) para o protótipo SAMU, seguindo o projeto de concepção, e as dimensões internas de 5,00m x 4,00m x 2,00m (Comp. x Larg. x Prof.) para o protótipo UPA.

Os fundos dos tanques foram nivelados e concretados a fim de distribuir o esgoto igualmente pelo sistema, e impermeabilizado, bem como as paredes construídas por alvenaria, com uso de tijolos de 19cm x 19cm x 9cm (Comp. x Larg. x Prof.). Parte das laterais dos tanques ficaram acima do nível do solo, sendo construído um talude ao redor dos TEWetlands (Figura 28).

Figura 28. Escavação e a estrutura lateral do TEWetland



Foto: Cláudia Trindade (2021)

A câmara de fermentação onde ocorre o 1º tratamento, anaeróbio, com o processo de biodigestão, foi construído em alvenaria com tijolos de mesmas dimensões dos utilizados nas paredes. Ambos os protótipos contaram com duas câmaras de fermentação de aproximadamente 50 cm de altura. A cobertura das câmaras, contaram com os tijolos assentados de foma inclinada, acima de duas fileiras de tijolos, permitindo que o esgoto ao chegar no topo do compartimento, escoar pelos furos do tijolo (Figura 29).

Figura 29. Construção das Camaras de Fermentação



Fotos: Cristina Crispim (2021)

Em cada câmara de fermentação há dutos de 100mm para o escape dos gases formados no compartimento, e que contribuirá para uma possível intervenção e ou manutenção, se necessário. Estes canos devem ser quase totalmente vedados na sua extremidade, para evitar entrada de oxigênio e de insetos.

Os tanques foram preenchidos por camadas de materiais de diferentes granulometrias, iniciando por um material grosseiro até à altura da câmara de fermentação, podendo ser concreto de demolição, tijolos, telhas, reaproveitando esse tipo de rejeito da construção civil. Neste caso foram usadas pedras do local, com dimensões variáveis mas com uma média de 20 cm. Esse material foi disposto no tanque de forma que ficaram espaços entre as pedras, permitindo que seja possível a formação de colônias de biofilme aderidas às pedras, que contribuirão com a segunda etapa do tratamento, por biorremediação (Figura 30).

Figura 30. Preenchimento da primeira camada do TEVAP TEWetaland_UPA e TEWetland_SAMU



Foto: Cláudia Trindade (2021)

Em seguida foram colocadas as camadas de brita e areia com o solo da própria escavação (Figura 31), seguindo o determinado no projeto de concepção, estas camadas vão continuar o tratamento com o processo de filtragem do efluente. Antes de ser plantado na superfície foi inserido um sistema de drenagem com canos de PVC de 50mm (por motivos de patente não podem ser inseridos aqui mais detalhes sobre esse sistema, tendo sido alguns procedimentos mantidos em sigilo).

Figura 31. Preenchimento das camadas de brita e solo do TEVAP TEWetaland_UPA e TEWetland_SAMU



Fotos: Cláudia Trindade e Cristina Crispim (2021)

Devidamente preenchido o tanque, foram plantadas em cima bananeiras, essas plantas vão contribuir no processo de fitorremediação, absorvendo os nutrientes presentes no efluente (Figura 32).

Figura 32. Plantando no TEVAP TEWetland_UPA e TEWetland_SAMU



Foto: Cláudia Trindade (2021)

4.3. Análises do efluente

Para poder comparar a eficiência do tratamento com sistemas tradicionais disseminados e já predominantes, e averiguar as potencialidades do efluente tratado como água para reuso, realizaram-se análises físicas, químicas e biológicas, ao longo do tempo, para os protótipos UPA e SAMU. Só foram até o momento realizadas análises do primeiro módulo (TEvap) dos protótipos, visto que ainda não foi gerado efluente do segundo módulo.

Os primeiros módulos iniciaram seu funcionamento no dia 21/09/2021, sendo gerado o efluente do protótipo UPA com 15 dias e o protótipo SAMU com 79 dias. Essa diferença de dias, se dá devido ao tamanho do TEWetland do SAMU ser proporcionalmente maior.

As coletas foram realizadas sempre no mesmo horário, por volta das 12:00 horas, esse é o horário de pico de produção de esgoto, devido ao período de almoço, onde há um maior consumo de água, além disso é um horário mais crítico para os microrganismos, sendo realizada a análise na pior situação. A partir daí deu-se início às análises do efluente da UPA, com as amostras após 15, 36 e 57 dias. Com 79 dias a coleta começou a ocorrer em ambos sistemas em simultâneo.

Abaixo segue o quadro com as datas que foram realizadas as coletas e respectivamente a quantidade de dias do funcionamento.

Quadro 5. Período de coleta do efluente dos protótipos

DATA	Protótipo_UPA (dias)	Protótipo_SAMU (dias)
06/10/2021	15	
27/10/2021	36	
17/11/2021	57	
09/12/2021	79	79
25/01/2022	126	126
03/03/2022	163	163
01/04/2022	192	192
17/05/2022	238	238
05/07/2022	287	287
25/08/2022	338	338
20/09/2022	364	364
07/12/2022	442	442
07/02/2023	504	504
20/04/2023		576
24/05/2023	610	610
05/07/2023	652	652
09/08/2023	687	687
05/10/2023	744	744
08/11/2023	778	778
13/12/2023	813	813

Fonte: elaborado pelo autor (2023)

Das análises químicas, foi registrado os nutrientes nitrogenados e fosfatados, e verificado como se comportam diante da precipitação acumulada dos dias que precedem a coleta, bem como o registro do Oxigênio Dissolvido (OD). Ao longo das análises ocorreram alguns imprevistos e intervenções, que foram registrados (Figura 35), de maneira a tentar otimizar o sistema.

O OD, só começou a ser registrado a partir da 8ª coleta (238 dias), no entanto é possível perceber a influência que este sofre de acordo com a precipitação. Nos períodos de maior incidência de chuva, tende a ser menor a concentração de OD no efluente, e como o OD influencia em algumas reações químicas, influencia na amônia, nitrito e nitrato que participam do processo de nitrificação. Percebendo a necessidade de oxigenar o sistema, a 1ª (*) interferência foi efetuar alguns furos no solo (192 dias) no TEWtland_UPA, e isso já resultou na diminuição da amônia que estava crescente ao longo do tempo, e respectivamente o aumento de nitrito e nitrato, que são o resultado da transformação da amônia pela nitrificação.

Aos 287 dias foi realizada a 2ª (**) interferência, através da colocação de canos pvc de 25mm furados em suas laterais, até a camada de metralha, afim

de manter a oxigenação do solo, e após essa ação, mesmo precedido do maior índice cumulativo de precipitação, garantiu que se mantivesse OD no efluente e diminuíssem alguns compostos, revelando ter sido uma intervenção apropriada (Figura 33).

Na coleta de 364 dias foi registrado, uma grande quantidade de gordura transbordando pelo cano exaustor das camaras de fermentação, evidenciando a não utilização da caixa de gordura no prédio (Figura 34). Nesse dia, foi realizado a retirada dessa gordura do cano exaustor, e mais uma vez, foi observado um aumento no OD, e diminuição da amônia e respectivo aumento de nitrato e nitrito. Isso é considerado positivo já que amônia é tóxica e as plantas absorvem nitrato. No entanto, isso também deixou claro a importância de se implantarem caixas de gordura na saída de águas cinzas dos prédios, que apesar de solicitado à Prefeitura de Ingá não foram instaladas.

Figura 33. Canos furados para oxigenar o sistema nas camadas superiores



Foto: Cristina Crispim (2022)

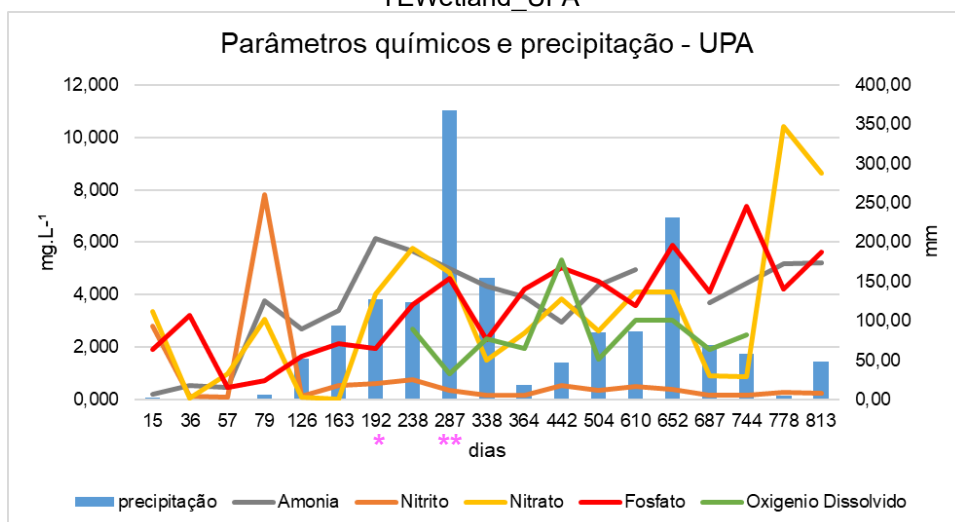
Figura 34. Limpeza da gordura no cano exaustor



Foto: Autor (2022)

As concentrações de fosfato apresentaram aumento ao longo do tempo. Como o sistema se torna um ecossistema, é possível que a mortalidade de organismos, seja os microorganismos, seja as plantas (folhas) que se decompõem sobre a estrutura, por falta de manejo, possam estar aumentando essas concentrações para além da absorção pelas plantas. Para além disso, é importante salientar que as águas de lavagens presentes no esgoto já são ricas em fósforo devido à presença de sabão (NUVOLARI, 2011).

Figura 35. Relação entre os parâmetros químicos e precipitação ao longo do tempo no TEWetland_UPA

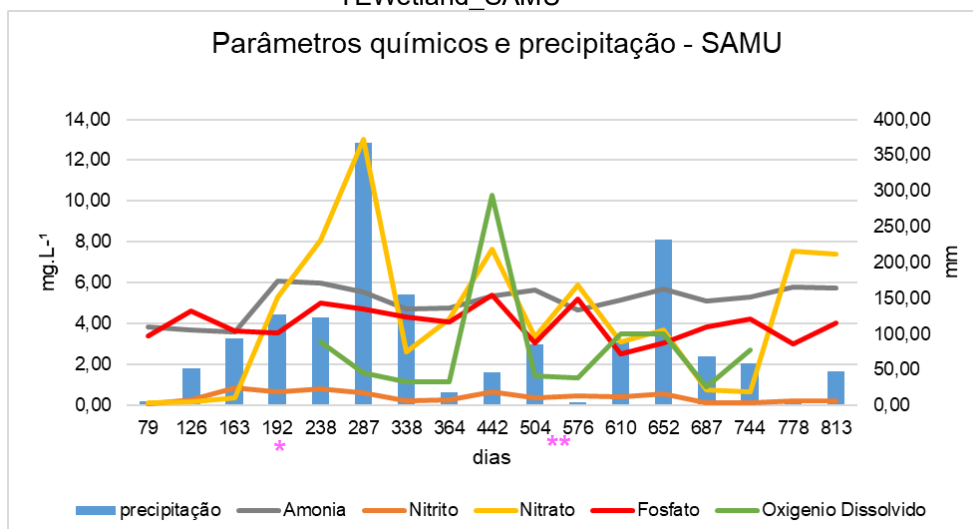


Fonte: Autor, 2023

O mesmo tipo de acompanhamento foi realizado com o TEWetland_SAMU (Figura 36), havendo a necessidade de 2 interferências, a 1º (*) com 192 dias, realizando algumas perfurações no solo para oxigenação no solo e a 2º (**) interferência com a colocação de canos furados no solo, entre a coleta de 504 dias e 576 dias, do mesmo modo que no protótipo da UPA.

Avaliando os gráficos dos compostos químicos dos protótipos percebe-se uma tendência de estabilização da amônia na faixa de 4,00 mg.L⁻¹ – 6,00 mg.L⁻¹, e nitrito inferior a 1,00 mg.L⁻¹ e perto de 0,00 mg.L⁻¹, após os 687 dias de análise.

Figura 36. Relação entre os parâmetros químicos e precipitação ao longo do tempo no TEWetland_SAMU



Fonte: Autor, 2023

O TEWetland_SAMU possui uma caixa de passagem em que o esgoto passa antes de entrar no protótipo, isso permite que possa coletar o esgoto bruto e analisar a remoção da carga orgânica pelo sistema. Apesar de ter sido solicitado desde o início uma caixa de passagem antes da outra fossa, não foi construída. Dessa forma pelas características do esgoto de ambos os prédios serem semelhantes, os valores de DBO e DQO do esgoto bruto do SAMU também será considerada para análise da remoção da carga orgânica da UPA.

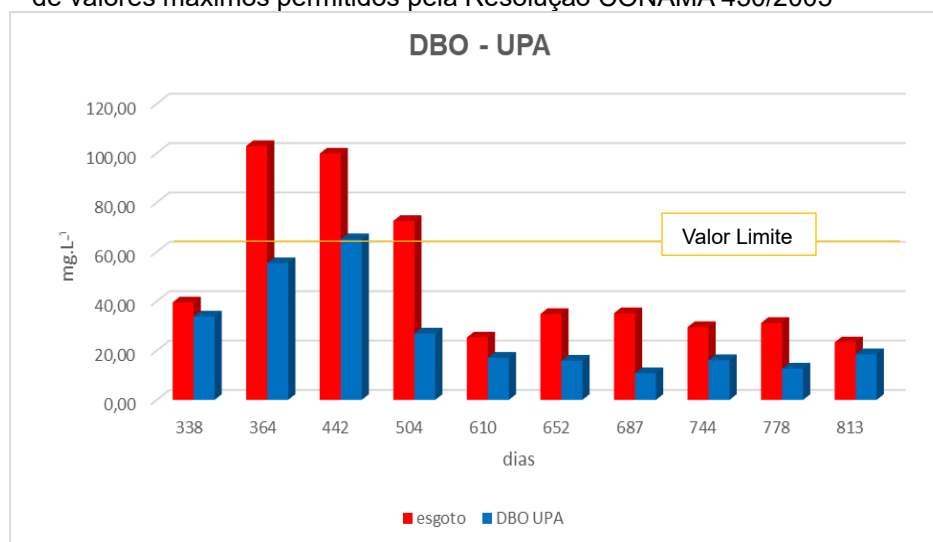
Ao longo do tempo, o efluente tratado apresentou valores inferiores tanto para DBO quanto para DQO que o esgoto bruto, sendo importante lembrar que, como no horário que a coleta é realizada é constante a entrada de esgoto na caixa de passagem, o esgoto estará em características iniciais de deterioração.

A remoção de DBO teve seu pior desempenho em sua primeira coleta com 338 dias para ambos os protótipos, tendo apenas uma redução de 14,43% e 12,66% para os protótipos UPA e SAMU respectivamente. Quanto aos melhores desempenhos, ocorreram com 504 dias e 687 dias para UPA com reduções de 62,90% e 69,23% (Figura 37), e com 744 dias e 778 dias, com reduções de 81,02% e 81,08% para o efluente do SAMU (Figura 38).

Em todo o período, mesmo nas amostras de remoção de DBO mais baixas, são apresentados valores do efluente de acordo com o que determina o CONAMA 430 para lançamento de efluente para rios de classe I, com valores médios de cerca de 25mg.L^{-1} e 27mg.L^{-1} , menores que o máximo de 60mg.L^{-1} permitido pela resolução CONAMA 430/2011 (Figura 37).

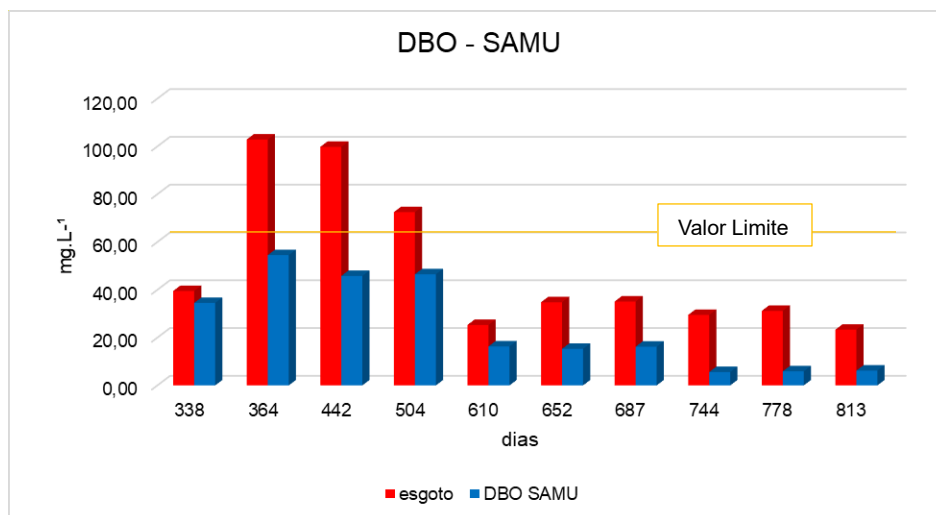
Verifica-se que a partir no dia 813, no protótipo da UPA, uma menor eficiência na remoção de DBO, isso pode ter sido causado pelo fato de os canos exaustores das câmaras de fermentação estar saindo esgoto (Fig. 39), o que não é normal e pode ser o resultado de algum problema interno na câmara. Como foi a última análise realizada, não saberemos se o problema vai persistir. Com isso o esgoto não passava por todas as fases de biotratamento tendo um efluente de pior qualidade.

Figura 37. DBO ao longo do tempo no protótipo TEWetland_UPA, em Ingá, com a linha de valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 430/2005



Fonte: Autor, 2024

Figura 38. DBO ao longo do tempo no protótipo TEWetland_SAMU, em Ingá, com a linha de valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 430/2005



Fonte: Autor, 2024

Figura 39. Transbordo do esgoto pelo cano exaustor e solo encharcado no protótipo UPA

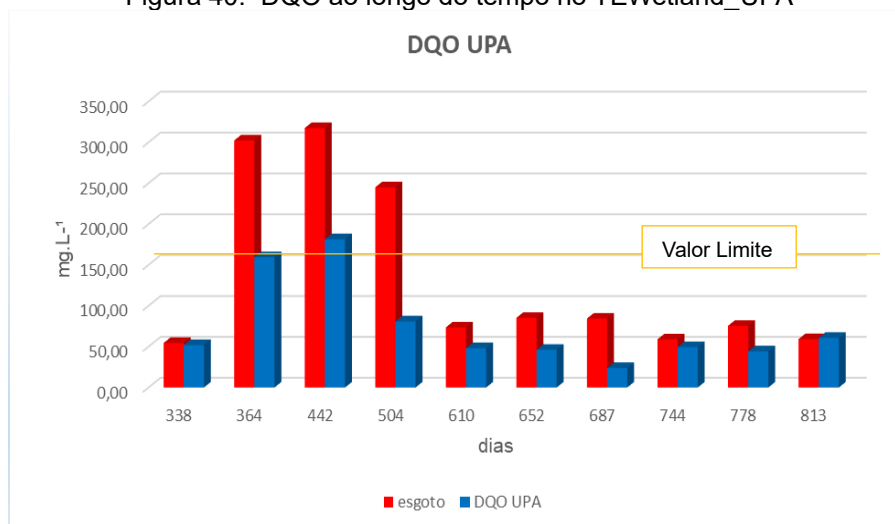


Foto: Autor, 2024

Assim como a remoção de DBO, a DQO teve um dos seus piores desempenhos em sua primeira coleta com 338 dias, tendo apenas uma redução de 4,59% e 2,38% para os protótipos UPA e SAMU. Seus melhores desempenhos foram registrados com 504 dias e 687 dias, com reduções respectivamente de 66,98% e 71,65% na UPA e nas ultimas três coletas com mais de 70% de remoção no SAMU. Evidenciando mais uma vez o problema que ocorreu no sistema da UPA.

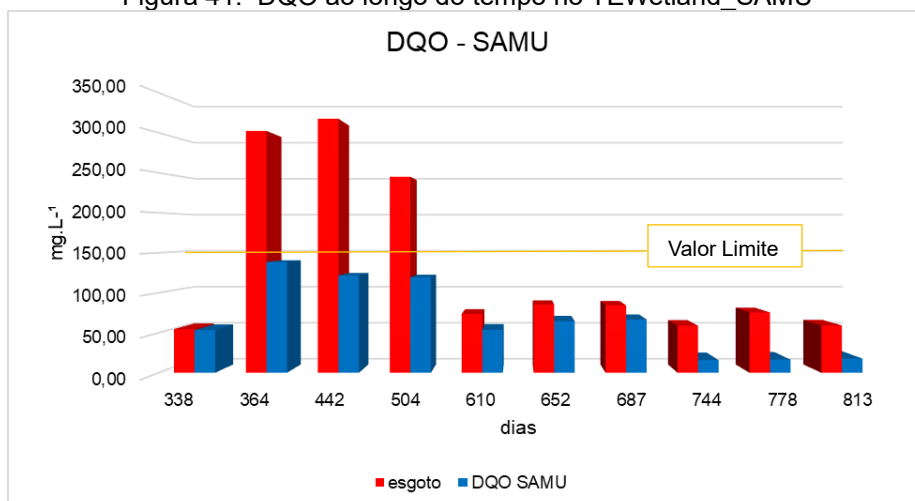
Em todo o período, mesmo nas amostras de remoção mais baixas, são apresentados valores do efluente de acordo com o que determina o CONAMA 430 para lançamento de efluentes em rios com valores médios menores que 150 mg.L⁻¹.

Figura 40. DQO ao longo do tempo no TEWetland_UPA



Fonte: Autor, 2024

Figura 41. DQO ao longo do tempo no TEWetland_SAMU



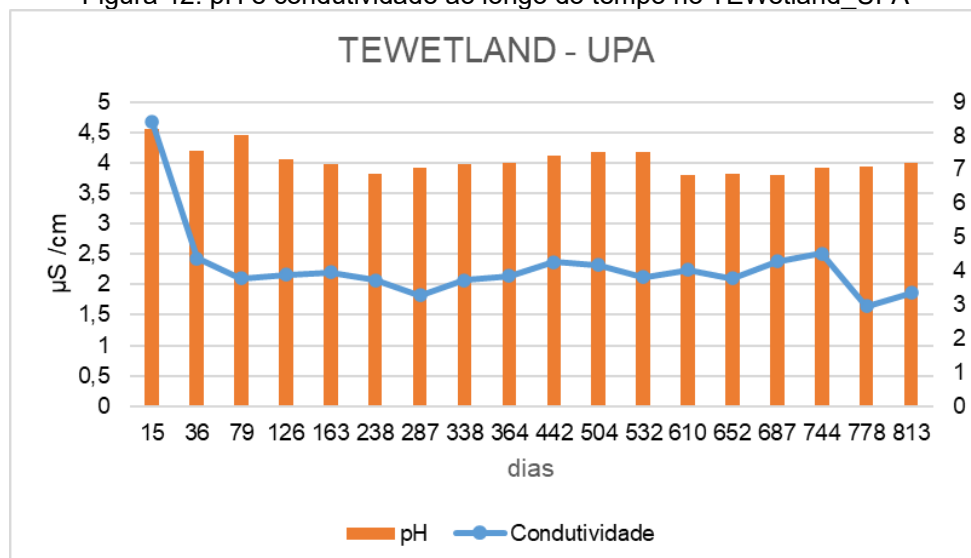
Fonte: Autor, 2024

Espera-se que o desempenho na remoção de DBO e DQO, ainda melhore, após passar pelo segundo módulo (Wetland construído).

Ainda em relação ao TEWetland UPA, a primeira coleta, com 15 dias de construído, foi apresentado o maior valor de condutividade (Figura 39) atingindo o valor de 4.670 $\mu\text{S}/\text{cm}$, isso pode ser devido à qualidade do solo do local que preencheu o módulo, que recebia o esgoto *in natura*, fazendo com que este tivesse uma alta concentração de sais. Com o tempo, o efluente passando pelo solo dispersou mais esses sais, tendo seu menor valor de 1.823 $\mu\text{S}/\text{cm}$ com 287 dias, em que houve uma maior precipitação acumulada que antecedia a coleta. Importante pontuar que a água de consumo em Ingá, já possui altos valores de condutividade, sendo registrado o valor de 1.385 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na água da torneira. Os valores de condutividade aumentaram entre os dias 287 e 364, coincidindo com o período de maior chuva. Isso pode ser o resultado da lavagem do solo do TEvap de cima para baixo, aumentando as concentrações de sais minerais.

Em relação ao pH, em suas primeiras coletas inicia-se mais alcalino, chegando a atingir o valor de 8,2, seguindo depois uma tendência à sua neutralização próximo a 7,0, com valores oscilando em pH 6,8 e pH 7,5 (Figura 39).

Figura 42. pH e condutividade ao longo do tempo no TEWetland_UPA

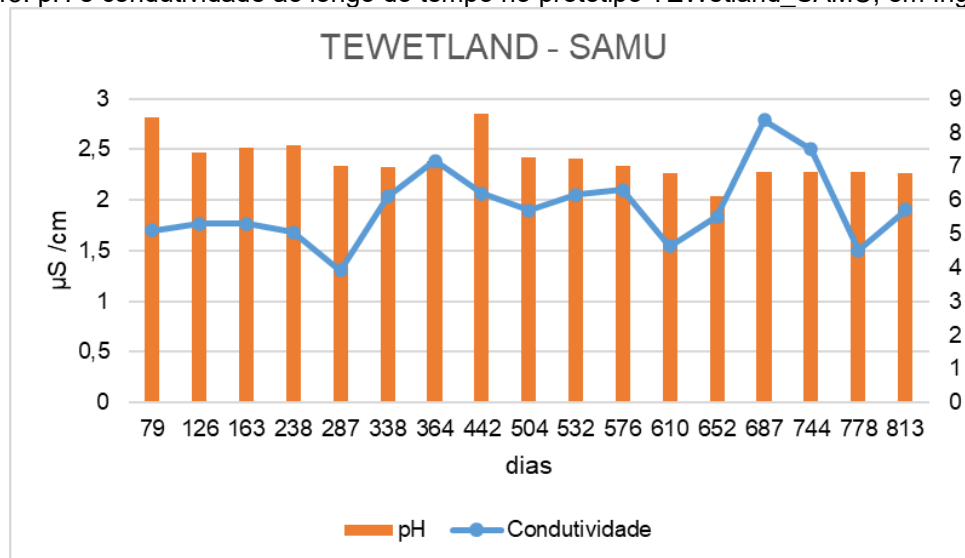


Fonte: Autor, 2024

Para o TEWetland_SAMU os valores de condutividade são predominantemente menores, muito devido ao solo menos contaminado, visto que no solo da UPA havia transbordo de esgoto da fossa para o solo, antes da construção dos TEWetlands, atingindo o menor valor de 1.304 $\mu S/cm$ com 287 dias e pico com 364 dias com condutividade de 2.390 $\mu S/cm$ (Figura 40).

O pH no TEWetland_SAMU apresentou valores mais alcalinos que do TEWetland_UPA, chegando a atingir um valor máximo com 442 dias, com pH de 8,6 e com tendência em estabilizar em pH 7, oscilando entre 6,1 e 8,6 (Figura 40).

Figura 43. pH e condutividade ao longo do tempo no protótipo TEWetland_SAMU, em Ingá

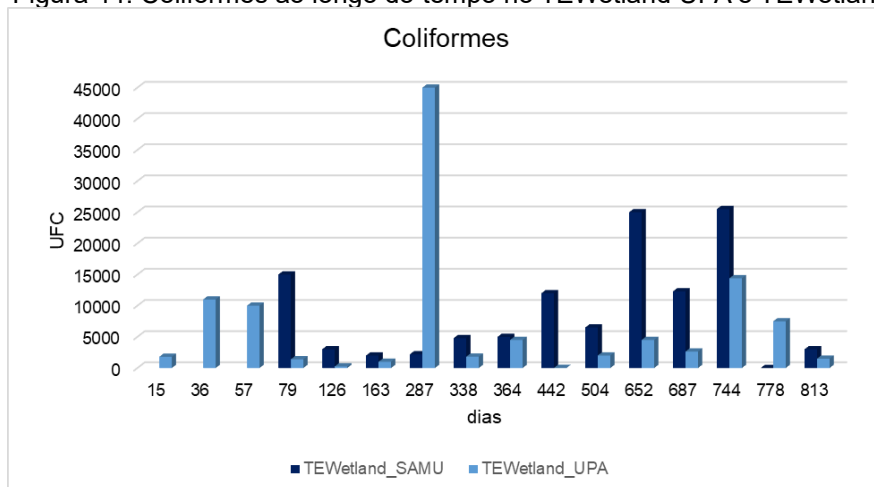


Fonte: Autor, 2024

No que diz respeito à presença de coliformes fecais no efluente, nota-se uma eficácia maior no tratamento do sistema da UPA em comparação com o sistema do SAMU. Isso pode estar relacionado com a possível entrada de oxigênio na câmara de fermentação por meio da caixa de passagem localizada em um nível próximo desta câmara. Essa configuração pode favorecer a entrada de oxigênio, evitando que o sistema se torne completamente anaeróbico.

Ao longo do tempo obtiveram-se alguns resultados excelentes para reuso no TEWetland_UPA, com valores de 12, 250 e 1.000 UFC, lembrando que são resultados ainda obtidos passando apenas pelo primeiro módulo, e um valor *outlier* de 45.000 UFC (Fig Y), mas que pode ter sido alguma falha na análise.

Figura 44. Coliformes ao longo do tempo no TEWetland UPA e TEWetland SAMU



Fonte: Autor, 2024

Quanto à identificação da presença de ovos, cistos e oocistos de parasitas intestinais, foi encontrado apenas nas duas primeiras análises realizadas, sendo encontrado *Strongyloides stercoralis* e ovos de *Ascaris*. Esta análise só se iniciou no dia 79. Essa presença pode ter sido contaminação cruzada, estando estes organismos presentes no solo contaminado que foi usado para preencher a fossa no Módulo 1, visto que depois deixaram de ser observados. Isso serviu de lição, para que em outras construções, em caso de ser construídos em áreas em que já correu esgoto a céu aberto, que não seja utilizado o mesmo solo do local.

Abaixo, no quadro 4 foi realizado um compilado da média e desvio padrão dos principais parâmetros analisados e comparados com a legislação CONAMA

357 que classifica os rios em classes de acordo com sua qualidade ambiental, e a legislação CONAMA 430 que determina os valores limites para lançamento dos efluentes. Foi retirado da média de coliformes um valor *outlier*, do efluente do TEWetland UPA.

Quadro 6. Qualidade do efluente tratado pelos protótipos (valores médios e desvio padrão) e legislação

Parâmetros	TEWetland UPA	TEWetland SAMU	CONAMA 357 Classe 1 rios	CONAMA 430 Lançamento de efluentes
Amônia (mg.L ⁻¹)	4,381 (+0,955)	5,094 (+0,785)	-	20
Nitrito (mg.L ⁻¹)	0,825 (+1,812)	0,415 (+0,245)	1	-
Nitrato (mg.L ⁻¹)	3,585 (+2,799)	4,259 (+3,567)	10	-
Ph	7,28 (+0,38)	7,21 (+0,58)	6 – 9	6 – 9
DBO (mg.L ⁻¹)	27,00 (+17,84)	25,00 (+17,88)	-	60
DQO (mg.L ⁻¹)	75,00 (+50,00)	67,00 (+43,37)	-	150
Coliformes (UFC)	≥ 11.000	≥ 15.000	-	-
SST	0,00	0,00	-	1,00

Fonte: Elaborado pelo autor, 2023

Todos os parâmetros estão em conformidade com o que determinam essas legislações, exceto nitrito do TEWetland_UPA que excede um pouco do que é determinado e todos estes valores deverão ser melhorados ao passar pelo segundo módulo. Salienta-se que a Resolução CONAMA 357/2005 não caracteriza efluentes, mas rios, sendo os valores considerados na tabela os de rios de Classe 1, que são a melhor qualidade de água em ambientes naturais, que requer para ser potável, apenas um tratamento simples, como a cloração. Logo, alguns dos parâmetros analisados seriam adequados para água de reuso, considerando principalmente os nutrientes.

Comparando com as concentrações médias de parâmetros dos efluentes dos principais sistemas de tratamento de esgoto, os protótipos se saíram muito bem, mesmo com o tratamento incompleto, apresenta resultados superiores à maioria dos outros, sendo comparável com ETes de Lodo Ativado. Quanto à presença de coliformes, se comparado com o tratamento por Lodo Ativado, considerado o melhor sistema listado na tabela, há uma diferença significativa entre os sistemas na ordem de duas casas exponenciais (Quadro 8), sendo mais eficiente no TEWetland.

Quadro 7. Concentração dos diversos parâmetros de efluentes de ETEs e os protótipos TEWetland (1º módulo – TEVAP). FS+FA: fossa séptica + filtro anaeróbio, LF: lagoas facultativas, LAN+LF: lagoas anaeróbias + lagoas facultativas, LA: lodos ativados, UASB: reator UASB sem pós-tratamento, UASB+POS: reator UASB + pós-tratamento, UPA: TEWetland_UPA, SAMU: TEWetland SAMU

	FS+FA	LF	LAN+LF	LA	UASB	UASB+POS	UPA	SAMU
DBO mg.L ⁻¹	292	136	89	35	98	42	27,00	25,00
DQO mg.L ⁻¹	730	525	309	92	251	141	75,00	67,00
C.T	5,3.10 ⁶ (NMP)	1,2.10 ⁶ (NMP)	4,3.10 ⁶ (NMP)	1,3.10 ⁵ (NMP)	3,4.10 ⁷ (NMP)	9,7.10 ⁶ (NMP)	6,8.10 ³ (UFC)	8,9.10 ³ (UFC)

Fonte: Adaptação OLIVEIRA (2005) *apud* SOUSA (2019)

ETEs de lodo ativado são sistemas bastante requisitados quando se pensa no viés de uma elevada qualidade de efluente com reduzida área para tratamento, em detrimento de outros sistemas convencionais, como lagoas de decantação por exemplo. Mas por outro lado, estes sistemas requerem um controle intenso com muitas análises no monitoramento, demanda por um índice de mecanização alta e consequentemente maiores gastos energéticos do que outras opções.

Peleteiro e Almeida em seus estudos no ano de 2014, estimaram os custos para instalação e operação, com destinação final adequada do lodo, de duas ETEs de Lodo Ativado para atender uma população de 200.000 habitantes no fim da vida útil da estação (30 anos).

No quadro 8 é detalhado os custos para uma estação de Lodo Ativado convencional e uma outra estação com aeração prolongada, demandando uma área de 57.000 m² e 45.900m² respectivamente, desconsiderando os custos da compra e desapropriação do terreno. Chegando aos valores de R\$ 25.086.480,04 e R\$ 24.312.116,36 para a instalação desses equipamentos.

Quadro 8. Comparação entre os custos das concepções de sistemas de Lodo Ativado

Item	Lodos ativados convencional	Aeração prolongada
Custos de implantação		
Construção civil	R\$ 22.009.791,52	R\$ 19.860.737,20
Equipamentos	R\$ 3.076.688,52	R\$ 4.451.379,16
Subtotal	R\$ 25.086.480,04	R\$ 24.312.116,36
Custos de operação		
Produtos químicos	R\$ 16.525,74	R\$ 6.372,07
Eleticidade	R\$ 407.220,66	R\$ 1.948.204,14
Transporte e destinação final do lodo	R\$ 992.267,10	R\$ 392.478,59
Subtotal anual	R\$ 1.416.013,50	R\$ 2.347.054,79
Valor presente	R\$ 11.406.249,21	R\$ 18.905.958,13

Fonte: Peleteiro e Almeida (2014)

Ao contrário dos altos custos com operação anual como pode ser observado nesse estudo, os sistemas ecológicos TEWetland não atrelam custos a produtos químicos, eletricidade e destinação do lodo, demanda apenas por manejo das plantas que compõem seu sistema, podendo estas ainda, fomentar a produção de alimentos.

Comparando os custos de implantação com um outro sistema compacto, Haraguchi (2014) levantou os custos para implantação de sistema composto por pré-tratamento seguido do reator UASB, biofiltro aerado submerso, decantador secundário e um sistema de desinfecção por raio ultravioleta demandando uma área de 1.080,16 m² para atender uma população de 1.000 habitantes totalizando o valor de R\$ 2.601.454,99. Por outro lado, o TEWetland para atender essa mesma população tem estimado o valor aproximado de R\$ 518.504,86, chegando a custar menos que 1/4 do sistema proposto e comportando a mesma área.

No mesmo estudo, Haraguchi faz o acompanhamento da redução de DBO e DQO do efluente tratado, chegando aos valores médios de 77mg.L⁻¹ de DBO e 315mg.L⁻¹ de DQO. Apresentando quase o triplo na concentração média de DBO e mais que o quádruplo nas concentrações médias de DQO dos protótipos de TEWetland estudados. Além do mais, mesmo que não tenha sido realizado o acompanhamento das concentrações de nutrientes, espera-se que estes sejam

elevados por se tratar de um sistema sem um tratamento terciário, visto que apenas as plantas retiram nutrientes dos efluentes.

Em resumo, no geral, os sistemas de tratamento de esgotos predominantemente, demandam por grandes áreas com baixo custo de manutenção e operação lançando um efluente que compromete a qualidade dos corpos hídricos receptores (convencional), contribuindo com o aumento do estado trófico em rios, o que induz a produção de imensos bancos de macrófitas fluturantes, como a *Eichornnia crassipes* (baronesa ou aguapé) e *Pistia stratiotes* (alface d'água); ou para entregar um efluente de qualidade mais adequada em menor espaço (compactos), atrela custos exorbitantes com eletricidade em sua operação.

Embora a água seja um recurso renovável, este é comprovadamente limitado (SANTIN, 2023) e a Política Nacional de Recursos Hídricos a define ainda como de domínio público dotado de valor econômico, devendo a sua gestão contemplar os múltiplos usos e em caso de escassez priorizar o consumo humano e dessedentação animal (SRH/MMA, 1997).

Devido à limitação deste recurso primordial para a manutenção da vida e ao desenvolvimento, o acesso a este recurso resulta em diversos conflitos e em um futuro não tão longínquo poderá ser motivo de confrontos generalizados entre nações, bem como já ocorreu com o petróleo (COSTA, 2010).

O Brasil, apesar de ser o país com a maior disponibilidade hídrica do planeta, cerca de 13,8%, esta não é abundante e distribuída de forma equitativa. Cerca de 68% é concentrada no norte do país com a concentração de apenas 7% da população, enquanto a Região Nordeste possui grande parte do seu território em área de clima semi-árido (COSTA, 2010).

Um outro fator complicador para ambas as regiões Norte e Nordeste advém da histórica negligência em investimentos de saneamento básico, tendo essas regiões os piores índices de cobertura de esgotamento sanitário. Apenas 14,7% da população do Norte é atendida com rede pública de esgoto e 31,4% no Nordeste (SNIS, 2023)

É importante a prática e a produção de água de reuso nos sistemas de tratamento de efluentes, não só apresenta uma solução ambientalmente adequada, mas também apresenta vantagens sociais e econômicas.

Embora a ABNT nº 13.969, de 1997 e o Conselho Nacional de Recursos Hídricos tratem sobre a importância da água de reuso e traga classificações para a utilização dessa água, os estados do Ceará e de São Paulo apresentam-se como pioneiros no desenvolvimento de legislações sobre padrões para reuso de água a partir de esgotos sanitários. A Resolução COEMA nº 02/2017, do Ceará, estabelece padrões para reuso de água a partir de efluentes sanitários, abrangendo cinco modalidades:

- Urbanas: reuso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações e combate de incêndio dentro da área urbana;
- Agrícolas e Florestais: reuso para a produção agrícola e cultivo de florestas plantadas;
- Ambientais: reuso para a implantação de projetos de recuperação do meio ambiente;
- Industriais: reuso em processos, atividades e operações industriais;
- Aquicultura: reuso para a criação de animais ou para o cultivo de vegetais aquáticos.

No quadro 9 são apresentados os critérios para cada modalidade dessas e os resultados obtidos pelos protótipos. A modalidade para fins industriais está suprimido, pois a resolução determina que a determinação da qualidade fica a cargo do empreendimento.

Quadro 9. Padrões da Resolução Coema nº 02/2017 para Reúso de Efluentes Sanitários

	Coliformes (NMP/100mL)	Ovos de helminto (ovo/L)	C.E (µS/cm)	pH	Temperatura (°C)
UPA	12–14.400	0	2.344	6,8 – 8,2	27,71
SAMU	2.000–25.500	0	1.857	6,1 – 8,5	28,60
Urbanas	5.000 1.000 ⁽¹⁾	1	3.000	6,0 – 8,5	-
Agrícolas e Florestais	ND ⁽²⁾ (3) 1.000 ⁽⁴⁾	ND ⁽¹⁾ 1 ⁽³⁾	3.000	6,0 – 8,5	-
Ambientais	10.000	1	3.000	6,0 – 8,5	-
Aquicultura	1.000	ND	3.000	6,0 – 8,0	40

(1. Para fins de irrigação paisagística 2. ND: Não Detectável 3. Culturas a serem consumidas cruas cuja parte consumida tenha contato direto com a água de irrigação 4. Demais culturas).

Fonte: Adaptado de MORAIS (2017)

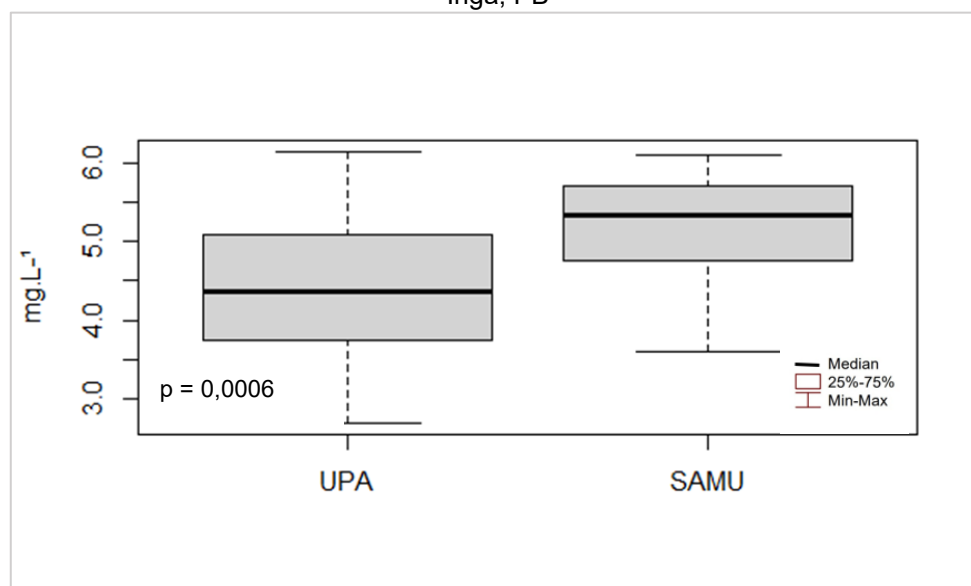
Quanto aos coliformes o sistema ainda não se apresenta estável, no entanto, o TEWetland_UPA em 86,67% dos resultados se apresenta adequado para reuso com fins ambientais, 73,33% para fins urbanos, e mesmo que ainda baixo, 20% para fins agrícolas e para aquicultura. Quanto ao TEWetland_SAMU, 61,54% para fins ambientais, e 46,15% para fins urbanos.

4.4. Dimensão x Tratamento

Apesar do dimensionamento maior do TEWetland_UPA, sua capacidade é proporcionalmente menor em cerca de 55% do que o TEWetland_SAMU, baseado nas contribuições que cada sistema recebe. Nesse aspecto confrutou-se estatisticamente os resultados médios obtidos por esses sistemas, em um mesmo período de tempo para observar se há diferença significativa na diminuição dos compostos, entre os sistemas, que possam justificar a escolha do maior ou menor protótipo, como o mais adequado.

A concentração média de amônia foi superior no TEWetland_SAMU com o valor de 5,094 mg.L⁻¹ e de 4,381 mg.L⁻¹, havendo diferença significativa entre os sistemas (p=0,0006).

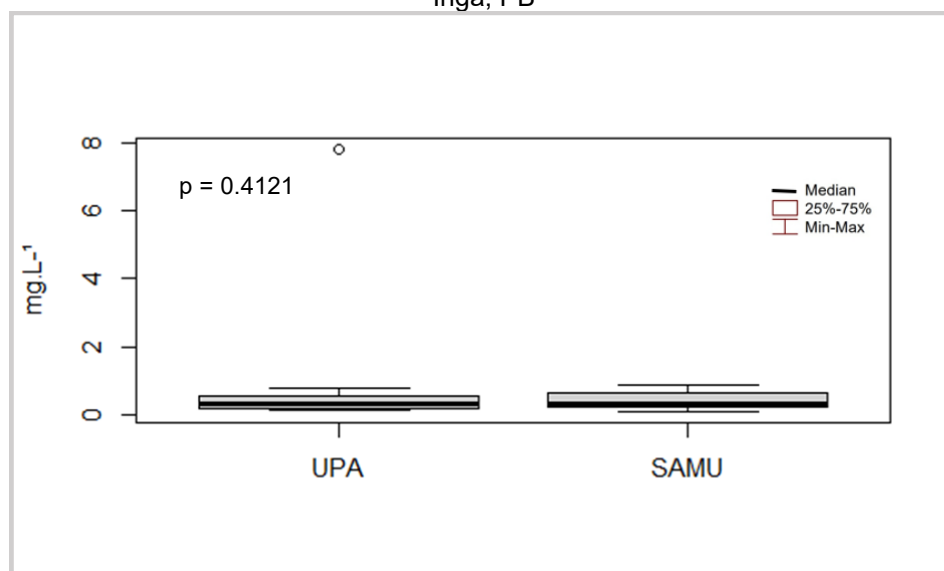
Figura 45. Boxplot da concentração de amônia entre os protótipos UPA e SAMU, instalados em Ingá, PB



Fonte: Autor (2023)

Quanto a nitrito, as concentrações médias são de 0,825 mg.L⁻¹ e 0,415 mg.L⁻¹ para os protótipos da UPA e SAMU respectivamente. Sem diferença significativa (p=0,4121). A menor quantidade de amônia e maior concentração de nitrito no TEWetland da UPA, evidencia que o processo de nitrificação neste, está ocorrendo com uma melhor eficiência, do que no do SAMU. Em ambos os sistemas foram colocados canos perfurados para facilitar a entrada de ar na camada de areia.

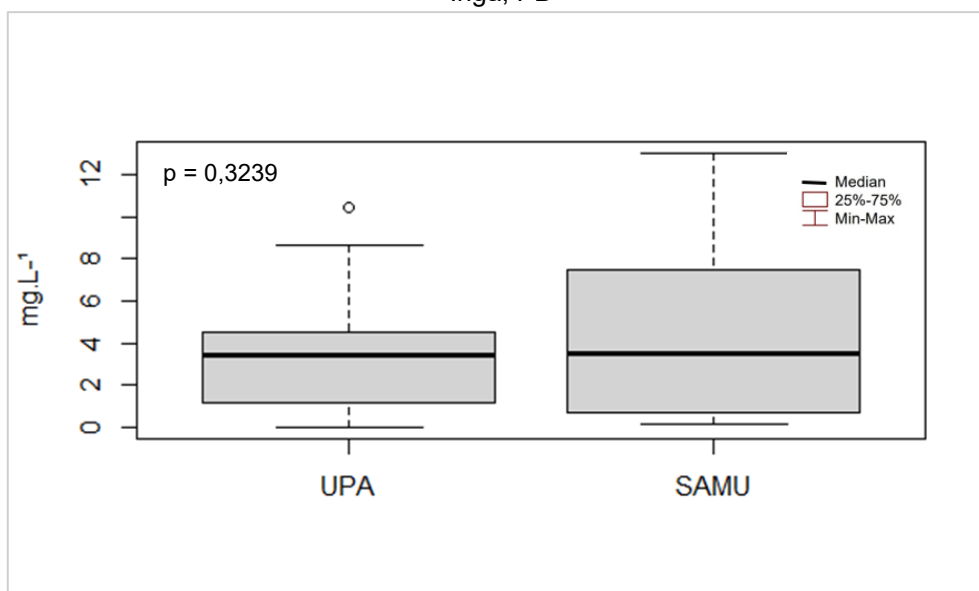
Figura 46. Boxplot da concentração de nitrito entre os protótipos UPA e SAMU, instalados em Ingá, PB



Fonte: Autor (2023)

Os valores médios de nitrato foram de 3,585 mg.L⁻¹ no TEWetland_UPA e 4,259 mg.L⁻¹ no TEWetland_SAMU, sem diferença significativa entre os sistemas (p=0,3239).

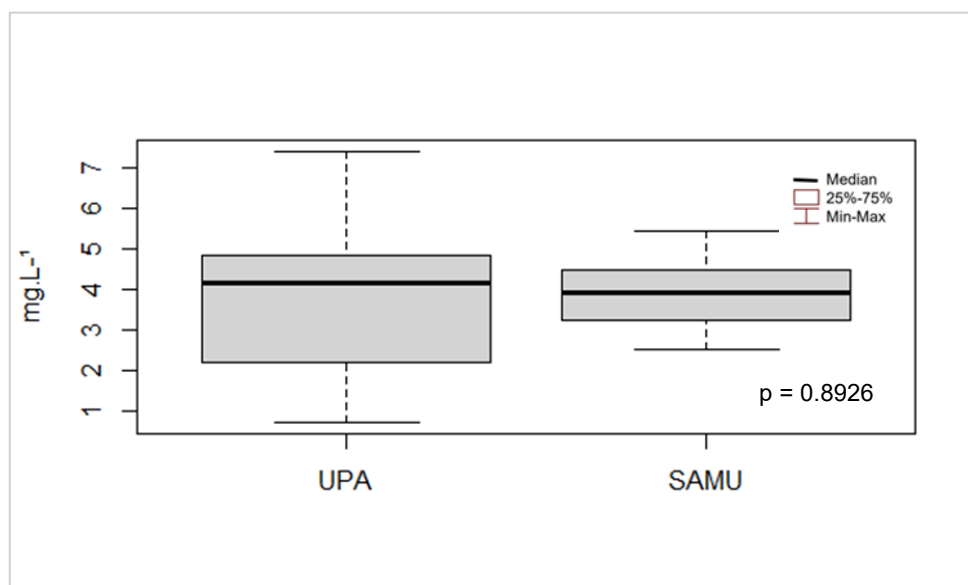
Figura 47. Boxplot da concentração de nitrato entre os protótipos UPA e SAMU, instalados em Ingá, PB



Fonte: Autor (2023)

Para o fosfato as concentrações médias foram de 3,843 mg.L⁻¹ e 3,907 mg.L⁻¹ para UPA e SAMU respectivamente, sem diferença significativa ($p=0,8926$).

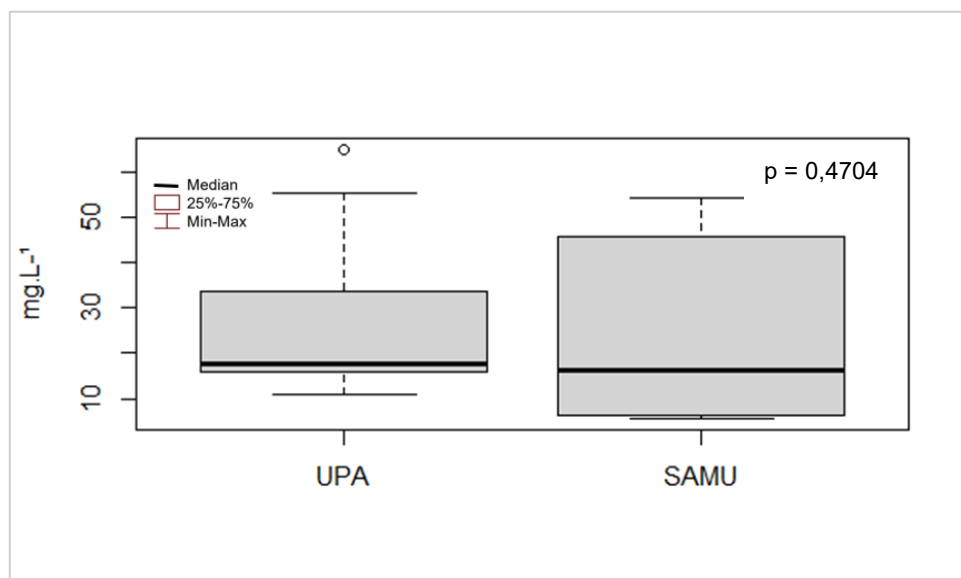
Figura 48. Boxplot da concentração de fosfato entre os protótipos UPA e SAMU, instalados em Ingá, PB



Fonte: Autor (2023)

As concentrações médias de DBO foram de 27,00 mg.L⁻¹ para o protótipo da UPA, e 25,00 mg.L⁻¹ para o do SAMU. Sem diferença significativa também ($p=0,4704$).

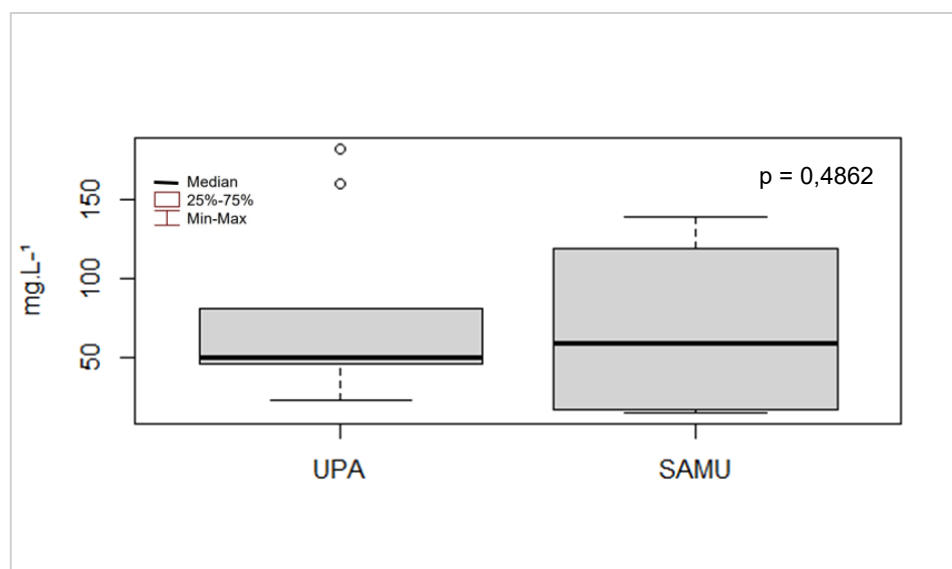
Figura 49. Boxplot da concentração de DBO entre os protótipos UPA e SAMU, instalados em Ingá, PB



Fonte: Autor (2023)

DQO teve como valores médios 75,00 mg.L⁻¹ e 67,00 mg.L⁻¹ para protótipo UPA e SAMU. Sem diferença significativa (p=0,4862)

Figura 50. Boxplot da concentração de DQO entre os protótipos UPA e SAMU, instalados em Ingá, PB

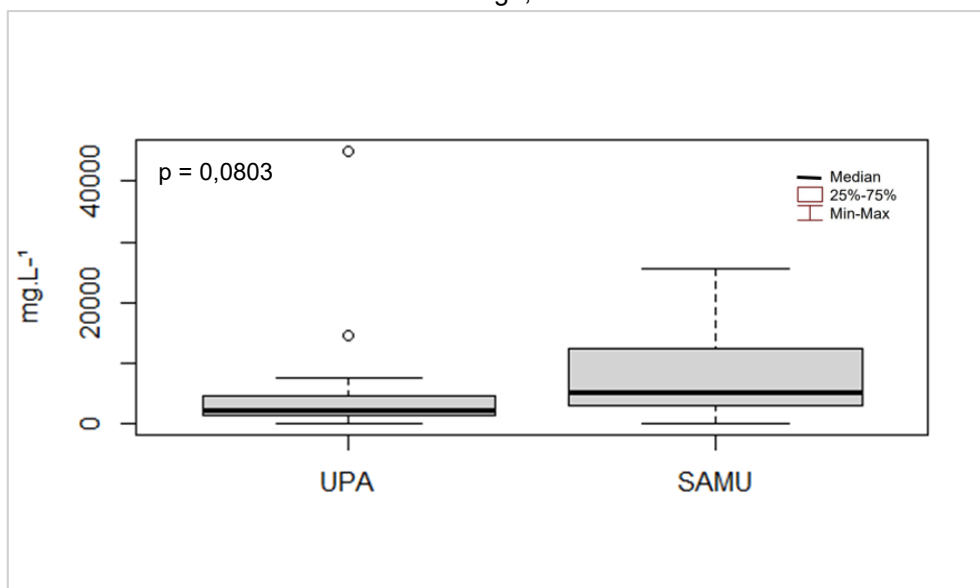


Fonte: Autor (2023)

Por fim, retirando o valor *outlier* registrado no protótipo do SAMU, e comparando os sistemas em um mesmo período de tempo, os resultados foram

de uma concentração média de $6,8 \cdot 10^3$ UFC para UPA, e $8,9 \cdot 10^3$ UFC, para o SAMU, com diferença significativa entre os sistemas ($p = 0,0803$).

Figura 51. Boxplot da concentração de coliformes entre os protótipos UPA e SAMU, instalados em Ingá, PB



Fonte: Autor (2023)

Em relação ao dimensionamento verificou-se que não foram registradas diferenças significativas entre as duas fossas, no entanto, na fossa da UPA, houve mais de uma vez extravazamento de esgoto da câmara de fermentação, pelos canos exautores, nas últimas análises. Isso pode significar que está havendo algum tipo de saturação do sistema de filtragem, o que pode ser causado pela entrada de areia nas primeiras camadas, reduzindo o espaço da água, ou que a camada de solo, por ser muito argiloso no local reduz a capacidade de infiltração nesta camada, reduzindo o fluxo de saída, comparando com o fluxo de entrada. O mesmo se verificou em fossas unidomiliares TEWetlands, construídas em área argilosa, e que quando o solo local foi substituído por areia também esse problema foi solucionado, melhorando o fluxo de saída da água. Dessa forma, já se propõe que em locais argilosos, não se coloque solo local, apenas areia, também se propõe colocar uma tela de polietileno antes de colocar a areia, para evitar que esta desça para camadas inferiores e não reduzir o espaço de armazenamento e tratamento biológico.

5. CONCLUSÕES

O TEWetland, se apresenta como uma alternativa no tratamento dos esgotos domésticos, diante de um cenário de baixa cobertura de esgotamento sanitário, e com tratamento eficiente. Principalmente para cidades de pequeno porte, em que sistemas centralizados de tratamento, não são viáveis economicamente. Além de ser um sistema barato, e de simples operação e manutenção, a qualidade do tratamento incompleto, apenas pelo primeiro módulo, já apresenta resultados melhores que estações de Lodo Ativado, considerado uma das melhores estações de tratamento, mas de alto custos para implantação e operação.

Quanto ao dimensionamento dos sistemas, pode-se dizer que o segundo módulo (Wetland Construído), foi hiperdimensionado, visto que em 85 dias ainda não gerou efluente, sendo sugerido então que para essas vazões de estudo, seja feito a diminuição do comprimento de 10,0m para 5,0m.

Os protótipos instalados, apesar de não analisados de forma completa, até este momento, cumprem bem o seu papel no tratamento do esgoto dos prédios da secretaria, retirou os esgotos de céu aberto, promovendo uma melhor qualidade ambiental para aqueles que frequentam o local e gerou efluentes com qualidade dentro do previsto pela Resolução CONAMA 430.

Ao confrontar os resultados obtidos pelos protótipos, mesmo havendo a contaminação cruzada no sistema, o TEWetland_UPA proporcionalmente menor demonstra um efluente de melhor qualidade ao longo do tempo, que pode ser devido à possibilidade de entrada de oxigênio na câmara de fermentação do SAMU - em virtude do mesmo ter uma caixa de passagem, com oxigênio, mais perto da altura da câmara, o que pode estar permitindo a entrada de oxigênio na câmara pela tubulação - , mas como na maioria dos parâmetros, não demonstra uma diferença significativa, pode o sistema ter menores dimensões, proporcionalmente, para o tratamento do volume que é gerado no SAMU.

A hipótese 1, em relação ao dimensionamento dos protótipos, foi parcialmente aceita, apesar dos resultados satisfatórios e de mudança significativa para melhor no local. Ao confrontar os sistemas, nota-se que o TEVAP do SAMU pode ter sido hiperdimensionado, e não apresentou resultados significativamente melhores. O segundo módulo (Wetland Construído) também

se demonstra hiperdimensionado para ambos, visto que não está gerando água para reuso, podendo ser reduzido pela metade, reduzindo ainda mais os custos e otimizando a área.

A hipótese 2 é aceita, apesar do sistema não ter passado por seu tratamento completo, apresentou até este momento potencialidade para reuso com fins ambientais e urbanos, com margem de melhoria para fins agrícolas, ao passar pelo wetland (módulo 2).

O TEWetland, se propõe a contribuir para a mudança do paradigma atual de ETEs centralizadas. Ao se criticar sistemas centralizados, não significa dizer que estes devam ser abolidos, mas entender que em um país continental como o Brasil, com diferentes realidades, nem sempre estes devem ser empregados, mas sim, como o transporte público, para o esgotamento sanitário que haja diferentes sistemas modais para o tratamento dos esgotos, baseados na potencialidade e necessidade de cada local.

O custo benefício parece ser um dos principais pontos positivos destas Pequenas Centrais de Tratamento de Esgoto, visto que sua implantação será mais barata que outras Estações de Tratamento, visto não ter custo anual com manutenção e o efluente gerado é de muito melhor qualidade que a maioria das ETEs presentes no Brasil, podendo ser dimensionado para uma, poucas e muitas residências, por ser o sistema dimensionável.

Pequenas Centrais de Tratamento Ecológico com TEWetlands pode resolver o problema da falta de tratamento não apenas em áreas rurais, ou pequenas cidades, mas também em cidades maiores, em áreas periféricas em que não tem ainda coleta e tratamento de esgoto. Como sobre as fossas podem ser produzidos alimentos, estas podem se tornar hortas comunitárias ou jardins que se encaixem no paisagismo nas cidades, podendo ser construídas em qualquer área da cidade, como praças, terrenos vazios, áreas perto de rios (tratando o esgoto antes de ser lançado nos rios) etc.

REFERÊNCIAS

ALEM SOBRINHO, P., & TSUTIYA, M. T. (2000). Universidade de São Paulo. Coleta e transporte de esgoto sanitário. 2ª. ed. São Paulo: Departamento de engenharia hidráulica e sanitária.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9648 – Estudos de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário: Procedimento. Rio de Janeiro. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 9649 – Projeto De Redes Coletoras De Esgoto Sanitário: Procedimento. Rio de Janeiro. 1986.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 12209 – Projeto de Estações de Tratamento de Esgoto: Procedimento. Rio de Janeiro. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (1997) NBR 13.969/97. Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos. Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT.

Almeida, A. C. B., & Salib, M. L. (2017). RACISMO AMBIENTAL URBANO: Omissão do poder público na efetivação do direito humano ao saneamento básico na cidade de Porto Velho. CEP, 76, 132.

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. (2017). Atlas Esgotos revela mais de 110 mil km de rios com comprometimento da qualidade da água por carga orgânica. Disponível em: <http://atlasesgotos.ana.gov.br/Release.Atlas.Esgotos.pdf> Acessado em: 10 jul. 2023.

APHA, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater – SMEWW. American Public Health Association – APHA, 23th ed., Washington – USA, 2017.

ARAUJO, Roberto de. O Esgoto Sanitário. In: NUVOLARI, Ariovaldo (Comp.).

Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011. p. 37-58.

BRASIL. Secretaria de Recursos Hídricos do Ministério do Meio Ambiente (SRH/MMA) / Agência Nacional de Águas (ANA). Plano Nacional de Recursos Hídricos.

BRASIL, 2021. SNIS - SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnosticos>>. Acesso em: 16 jul. 2023

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Plano Nacional de Saneamento Básico, 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/ptbr/assuntos/saneamento/plansab/Versao_Consehos_Resoluo_Alta__Capa_Atualizada.pdf> Acesso em: 12 jan. 2023

Brasil, Ministério da Saúde. DataSUS [Internet]. Brasília: Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde; 2018. Disponível em: www.datasus.saude.gov.br

BRASIL, 2011. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução N° 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente.

BRASIL. Atlas do Saneamento – 2011. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/atlas_saneamento/default.zip.shtm> Acesso em: 17 jul. 2023.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. Manual de Saneamento. 3. ed. rev. 1. reimp. Brasília: Fundação Nacional de Saúde, 2006

BRASIL, 1986. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente, RESOLUÇÃO CONAMA N° 001, Art1º. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>

BRASIL, 1988. Constituição Federal, art 225. Disponível em: http://www.senado.leg.br/atividade/const/con1988/con1988_atual/art_225_.asp
Acesso em: 10 jul. 2023.

BRASIL. (2006) Resolução do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) nº 54, de 28 de novembro de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília.

CABRAL, C.B.G., PLATZER, C.J., ROSENFELDT, S., HOFFMANN, H. e CHERNICHARO, C.A.L. (2015). Caracterização do biogás gerado no tratamento de efluente domésticos em reatores UASB no Brasil”. Anais do 28º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro.

CEARÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente (Coema). Resolução nº 02, de 02 de Fevereiro de 2017. Dispõe sobre os padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. CE. 2017.

CHERNICHARO, C.A.L. (2007). Reatores anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 246p.

CHERNICHARO, C. A. L.; VAN HAANDEL, A. C.; FORESTI, E.; CYBIS, L. F.; (2001) Introdução. In: Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios. pg 19-34. PROSAB. Belo Horizonte – MG, Brasil. 1ª Edição

CHUN-YUH, Y. et al. Calcium and magnesium in drinking water and the risk of death from breast cancer. Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A, London, v.60, n.4, p.231-241 2000.

Costa, M. R. da, Borba, A. L. S., de Oliveira, J. L., Pereira, H. R. de O., & de França, A. F. (2010). A PROTEÇÃO DAS ÁGUAS: RECURSO NATURAL LIMITADO. Águas Subterrâneas. Recuperado de <https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/22949>

CRISPIM, M.C.; FREITAS, J.K.S.; SILVA, G.R.; SOUZA, M.M.S.; MELO, G.M.; VASCONCELOS, P.H.N.; TAVARES, V.N. (2020). Propostas de baixo custo para mitigação dos impactos ambientais e despoluição em rios urbanos. In: PAULA. D. P., ...[et al.] (Org.), Diálogos em torno da linha de costa: O oceano

que nos une / Tomo IX da Rede BRASPOR. 1ed.: , 2020, v. , p. 101-119.

ECOINVENTOS: Green Technology. <<https://ecoinventos.com/construye-pozo-negro-ecologico/>>. Acesso em: 16 jan. 2023.

FERNANDES, V.M.C. (2006) Padrões para reúso de águas residuárias em ambientes urbanos. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE O USO DE ÁGUA NA AGRICULTURA, 2., 2006. Anais... p. 17.

FERRAZ, D.L. de M. (2014). Eficiência de uma ETE em escala real composta por Reator UASB seguido de Lodo Ativado. Dissertação (Mestre em Engenharia Sanitária). Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, RN, 79p.

FERREIRA, J. G., Gomes, M. F. B., & de Araújo Dantas, M. W. (2021). Desafios e controvérsias do novo marco legal do saneamento básico no Brasil. *Brazilian Journal of Development*, 7(7), 65449-65468.

FERREIRA, P. D. S. F., Motta, P. C., de SOUZA, T. C., da SILVA, T. P., de OLIVEIRA, J. F., & Santos, A. S. P. (2016). Avaliação preliminar dos efeitos da ineficiência dos serviços de saneamento na saúde pública brasileira. *Revista internacional de ciências*, 6(2), 214-229.

FONSECA, A.R. *Tecnologias sociais e ecológicas aplicadas ao tratamento de esgotos no Brasil* [dissertação]. Rio de Janeiro: Fiocruz; 2008.

FUNASA - FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. Coordenação de Comunicação Social. Programa Saneamento Brasil Rural. Brasília, DF, 25 jul. 2017. Disponível em: <Disponível em: <https://bit.ly/3evDj4H> >. Acesso em: 11 jun. 2023.

GALBIATI, A.F. 2009. Tratamento domiciliar de águas ts através de tanque de evapotranspiração. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais - Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Campo Grande, MS. 38p.

GALLO E, Setti AFF, Ruprecht T, Sobrinho FX, Finamore P, Shubo T, Machado GCXMP. *Territorial Solutions, Governance and Climate Change: Ecological Sanitation at Praia do Sono, Paraty, Rio de Janeiro, Brazil. Climate Change*

Management Berlin: Springer International Publishing; 2016. p. 515-532.

Haraguchi, M. T., Ucker, F. E., Kronhardt, R., Ferrari, T., & da Cunha Kemerich, P. D. (2014). Estudo de caso para a viabilidade de implementação de sistema de tratamento de esgoto compacto na região metropolitana de Goiânia. *Revista Monografias Ambientais*, 2967-2973. HARUVY, N. Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit analysis. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 66, 1997, p. 133-119.

JOOSSENS, J. et al. Dietary salt, nitrate an stomach cancer mortality in 24 countries. *International Journal of Epidemiology*, Oxford, n.25, p.494-504, 1996.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 6 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 1050 p.

KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. Treatment wetlands. Boca Raton: CRC, 2008. 1016 p.

KRONEMBERGER, D.M.P.; PEREIRA, R.S.; FREITAS, E.A.V.; SCARCELLO, J.A.; CLEVELARIO, J., 2011. IBGE - Saneamento e Meio Ambiente. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv53096_cap3.pdf acesso em: 10 jun. 2019.

LIBRALATO, G.; VOLPI G. A.; AVEZZÙ, F. To centralise or to decentralise: An overview of the most recent trends in wastewater treatment management. *Journal of Environmental Management*, 94(1), 61–68, 2012. doi: 10.1016/j.jenvman.2011.07.010

MARTINS, A. S. (2018). Influência de produtos de higiene pessoal e limpeza na concentração de sólidos totais, DBO, DQO, nitrogênio total e fósforo total do esgoto doméstico.

METCALF & EDDY; AECOM. Wastewater engineering: Treatment and Resource Recovery. 5 ed. New York: McGraw-Hill Education, 2014. 2018 p.

MONTEGGIA, L. O.; ALÉM SOBRINHO, P. (1999) Lagoas anaeróbias. In: Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição

controlada no solo. pg 101-116. PROSAB. ABES - Rio de Janeiro - RJ, Brasil. 1ª Edição.

MORAIS, N. W. S., & SANTOS, A. B. D. (2019). Análise dos padrões de lançamento de efluentes em corpos hídricos e de reúso de águas residuárias de diversos estados do Brasil.

MOURA, Priscila Gonçalves et al. Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 25, p. 791-808, 2020.

NUVOLARI, Ariovaldo. O Lançamento in natura e seus impactos. In: NUVOLARI, Ariovaldo (Comp.). Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reúso Agrícola. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011. p. 189-224.

OLIVEIRA, F.M.F. Biorremediação: uma forma de despoluição de ecossistema lótico com a utilização de biofilme e macrófitas. Tese de doutorado. Programa de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba. 105 p. 2020

OLIVEIRA, E. C. A., Avaliação da Remoção de matéria Orgânica na Estação de Tratamento de Esgotos de Ponta Negra – Natal (RN), 2005.

OLIVEIRA JR, J. L. Tratamento descentralizado de águas residuárias domésticas: uma estratégia de inclusão social. In: Lira, W.S.; Cândido, G. A. (orgs.). Gestão sustentável dos recursos naturais: uma abordagem participativa. Campina Grande: EDUEPB, p. 213-232, 2013.

PAES, W.M., 2014. Técnicas de permacultura como tecnologias socioambientais para melhoria na qualidade de vida em comunidade da Paraíba. Dissertação de Mestrado – PRODEMA, PB.

PERÍGOLO, R. A. Avaliação do Emprego de Lagoas de Estabilização em Escala Piloto para Pesquisa de Tratamento de Esgoto Doméstico. Dissertação. UNB. [Distrito Federal] 2004.

PERONDI, T.; WOLFF, D. B.; DECEZARO, S. T.; ARAÚJO, R. K. Wetlands construídos para o tratamento de esgoto doméstico: uma análise comparativa do

custo do ciclo de vida. Ambiente Construído [online]. v. 20, n. 2. pp. 175-189. 2020. Doi: /10.1590/s1678-86212020000200394.

Pires, F. J. (2012). Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no Assentamento Rural Olga Benário-MG.

RIBEIRO, W. A; CUKIERT, T. ANA propõe agenda que irá determinar regulação no saneamento. Migalhas. 10/11/2020. Disponível em <http://www.migalhas.com.br/depeso/336100/ana-propoe-agenda-que-ira-determinar-regulacao-no-saneamento>

RIDDERSTOLPE P. *Introduction to greywater management* Stockholm: Eco San Res Programme; 2004

SANT'ANNA JR., Geraldo Lippel. Tratamento biológico de efluentes: Fundamentos e Aplicações. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. 424 p.

Santin, J. R., Berndsen, G. R., & Manoel, V. (2023). A efetividade da lei de água-interface Brasil, Angola e Estados Unidos da América. Sequência (Florianópolis), 43, e91639.

SETELOMBAS. <https://www.setelombas.com.br/2010/10/bacia-de-evapotranspiracao-bet/>. 2010. Acesso em: 10 jun. 2023.

SEZERINO, P. H.; BENTO, A. P.; DECEZARO, S. T.; MAGRI, M. E.; PHOLOPPI, L. S. Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais. Engenharia Sanitária e Ambiental [online]. v. 20, n. 1, pp. 151-158. 2015. Doi:10.1590/S1413-41522015020000096615.

SILVA, B. B. As relações de gênero e o saneamento [manuscrito] : um estudo de caso envolvendo três comunidades rurais brasileiras / Bárbarah Brenda Silva. – 2017.

SOUSA, C. E. D. ; CRISMPIM, M. C. . Saneamento básico no Brasil e gestão de bacias hidrográficas. In: Philippi Jr., Arlindo; Sobral, Maria do Carmo. (Org.). Gestão de bacias hidrográficas e sustentabilidade. 1ed.Barueri: Manole,2019, v.

1, p. 747-763.

SOUSA, D. M. L. D. (2019). Índice de qualidade de efluentes em estações de tratamento de esgotos–ETE Baldo e ETE Ponta Negra.

SOUSA, C. E. D. (2015). Avaliação de sistemas biorremediadores em efluentes da lagoa facultativa da estação de tratamentos de esgotos em Mangabeira, João Pessoa/PB.

SPERLING, M. V. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3a ed. Minas Gerais. DESA, Ed. UFMG. 2005.

TEIXEIRA, L. P., de ANDRADE, E. T., Silva, F. C., & do Carmo, D. D. F. (2021). WETLAND CONSTRUÍDO COMO ALTERNATIVA PARA O TRATAMENTO TERCIÁRIO EM MUNICÍPIOS SEM SISTEMA DE COLETA DE ESGOTO: UMA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA. Revista Tecnológica da Universidade Santa Úrsula, 4(2), 1-23.

TONETTI, A.L.; BRASIL, A.L.; MADRID, F.J.P.L.; FIGUEIREDO, I.C.S.; SCHNEIDER, J.; CRUZ, L.M.O.; DUARTE, N.C.; FERNANDES, P.M.; COASACA, R.L.; GARCIA, R.S.; MAGALHÃES, T.M., 2018. Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções. ISBN 978-85- 85783-94-5, Campinas, SP.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. Coleta e transporte de esgoto sanitário. 2ª. ed. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000. 548p

UNICEF/WHO. Diarrhoea: Why children are still dying and what can be done, 2009. Disponível em: <https://www.unicef.org/media/files/Final_Diarrhoea_Report_October_2009_final.pdf> Acesso em: 10 jul. 2023.

VOLSCHAN, Isaac et al. Sistema unitário x sistema separador absoluto: qual o mais atraente para as condições brasileiras?. Revista DAE, v. 2009, n. 180, p. 40-43, 2009.Tradução. Acesso em: 01 jun. 2023

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG. 1995. 240p.

VON SPERLING, M. (1996). *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos* (Vol. 1). Editora UFMG.

VON SPERLING, M. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2 ed. Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996. v. 1, 243 p.

WRIGHT, M.J.; DAVISON, K.L. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. *Advances in Agronomy*, New York, v.16, p.197-274, 1964.

ZAHARIA, C. Decentralized wastewater treatment systems: Efficiency and its estimated impact against onsite natural water pollution status. A Romanian case study. *Process Safety and Environmental Protection*, 108, 74-88, 2017. doi: 10.1016/j.psep.2017.02.004