

TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO: SANEAMENTO NO MEIO RURAL E URBANO AMAZÔNICO | *EVAPOTRANSPIRATION TANK: SANITATION IN RURAL AND URBAN AMAZONIAN AREAS*

DOI: [10.24979/ambiente.v18i2.1523](https://doi.org/10.24979/ambiente.v18i2.1523)

Vania Neu 
Mindiya Uakti Pimentel Freitas 
Ana Cibelle Tavares Leal 
Maria de Lourdes Cavalcanti Barros 
Henrique Costa Cardoso 
Luana Costa da Silva 

Resumo: Na Região Norte do Brasil, a ausência ou uso de estruturas inadequadas para esgotamento sanitário causam sérios danos à saúde humana e ao meio ambiente. O presente estudo traz o relato de resultados e adaptações em tanques de evapotranspiração (TEvaps) para tratamento das águas residuárias domésticas em área urbana, no município de Ananindeua e em área rural na Ilha do Combu, município de Belém, Amazônia Oriental. A baixa capacidade de infiltração da água no solo foi observada tanto na área rural, quanto na urbana. Os TEvaps foram construídos em alvenaria, impermeabilizados e preenchidos com uma fileira de pneus, camadas de entulho, seixo, areia e terra preta, sobre a qual, foram plantadas espécies vegetais com elevado índice de evapotranspiração. Para evitar o transbordamento do sistema durante chuvas intensas, foram acoplados sumidouros adaptados para as diferentes condições locais. No período estudado, nenhum dos TEvaps apresentou transbordamento, emissão de odor ou quaisquer dificuldades para receber os efluentes. Dessa forma, os TEvaps mostraram-se eficientes como tecnologias sociais para o tratamento de águas residuárias domésticas em regiões onde não há serviços de coleta de esgoto e o solo é mal drenado, além de representarem uma alternativa para promoção de saúde e saneamento.

Palavras-chave: Saneamento Alternativo. Amazônia. Tecnologia Social. Tanque de Evapotranspiração.

Abstract: In the Northern Region of Brazil, the absence or use of inadequate structures for sanitary sewage disposal causes serious harm to human health and to the environment. This study reports the results and adaptations of evapotranspiration tanks (TEvaps) for the treatment of domestic wastewater in an urban area in the municipality of Ananindeua and in a rural area on Combu Island, in the municipality of Belém, Eastern Amazon. Low water infiltration capacity in the soil was observed in both the rural and urban areas. The TEvaps were built using masonry, waterproofed, and filled with a row of tires, layers of rubble, gravel, sand, and rich black soil, on top of which plant species with high evapotranspiration rates were planted. To prevent system overflow during heavy rains, adapted soak pits were attached to suit the different local conditions. During the study period, none of the TEvaps showed overflow, odor emission, or any difficulty in receiving the effluent. Thus, the TEvaps proved to be effective as social technologies for the treatment of domestic wastewater in regions lacking sewage collection services and with poorly drained soils, and also represent an alternative for promoting health and sanitation.

Keywords: Alternative Sanitation. Amazon. Social Technology. Evapotranspiration Tank.

1.1 Introdução

A contaminação da água, do solo e do lençol freático avança à medida que a população cresce, especialmente nos países classificados como subdesenvolvidos, ou em fase de desenvolvimento (Canholi, 2014). A agricultura, a indústria e a mineração são setores que contribuem de forma significativa com contaminantes e a elevada carga de químicos, em sua grande maioria sintéticos, são utilizados ao longo de toda a cadeia produtiva. Já as cidades, têm sido responsáveis pelo lançamento de grandes volumes de contaminantes biológicos, resultantes da ausência ou do esgotamento sanitário inadequado. Essas ações têm afetado o equilíbrio dos ecossistemas, a vida aquática e a saúde humana. Naturalmente, os ecossistemas têm uma capacidade de autodepuração da matéria orgânica, porém, quando a capacidade excede o limite natural, surgem problemas sanitários, ambientais e estéticos (Duarte, 2005). Do ponto de vista sanitário, isso resulta num ciclo de contaminação fecal/oral, responsável por inúmeras doenças como a diarreia, febre tifoide, cólera, salmonelose, shigelose, poliomielite, hepatite A, verminoses, amebíase e giardíase (Neu; Dos Santos; Meyer, 2016).

O acesso ao saneamento básico é direito humano universal e a agenda 2030 tem como meta o acesso ao saneamento seguro e erradicação da defecação a céu aberto até o ano de 2030 (ONU, 2015). Porém, os dados do SNIS (2022) mostram que o desafio é grande, pois 44,2% da população brasileira ainda não é atendida com tratamento de esgoto. Na região Norte do Brasil, 85,3% da população carece desse atendimento, e no estado do Pará, a falta de tratamento do esgoto é de 90,8% (SNIS, 2022). Sem dúvida, os piores índices de acesso ao saneamento básico são encontrados na região norte do país, o que resulta, atualmente, em altas taxas de morbimortalidade, especialmente em crianças menores de um ano de idade (Dias *et al.*, 2010).

O cenário do saneamento aponta que, no meio rural, encontram-se as maiores demandas (Arora; Mishra, 2019). Este, por sua vez, é responsável pela produção de alimentos, inclusive para abastecimento externo, sem garantia de saúde e bem viver para os que produzem (Neulinger *et al.*, 2011). Ao olhar para o meio rural amazônico, a falta de saneamento é muitas vezes atribuída às grandes distâncias, dificuldades logísticas (Borges-Pedro *et al.*, 2018), e ao complexo ciclo das águas (Fassoni-Andrade *et al.*, 2021), porém existe um forte contexto histórico, político e social para tal situação (Miranda *et al.*, 2023). O Brasil é um país onde há uma visão distorcida de que a floresta representa um local de atraso e a falta de ambição econômica é vista como falta de interesse ou proatividade (Nugent, 2021). E, assim, os que vivem na floresta e aqueles que dependem dela estão padecendo pela falta do mínimo, em um dos biomas mais biodiversos do planeta (Becerra *et al.*, 2021; De Andrade *et al.*, 2021). As dificuldades de acesso à água potável, saneamento, educação de qualidade, à saúde, energia elétrica e aumento da criminalidade no meio rural atraíram inúmeras pessoas para os centros urbanos (Mathews, 2021) como esperança de uma vida mais digna. Com poucos recursos, essas pessoas acabam se abrigando em bairros onde

a qualidade da água, saneamento e condições de moradia são precárias, ou ainda piores quando comparadas às do local de sua origem (Garnelo *et al.*, 2020).

No meio urbano amazônico, a situação de descaso com o saneamento é muito grave (Mattos *et al.*, 2019). As cidades com os piores índices de saneamento do Brasil são Macapá (AP), Marabá (PA), Porto Velho (RO), Santarém (PA), Belém (PA), Rio Branco (AC), Ananindeua (PA) e Manaus (AM) localizadas na região norte do Brasil (SNIS, 2022). Adensadas, as cidades são hoje um grande centro consumidor de nutrientes, em grande parte vindos do meio rural, na forma de alimento (Schabarum *et al.*, 2023). Esse alimento processado e digerido se transforma em esgoto rico em nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, e com alta carga de patógenos (Das *et al.*, 2023). O tratamento dos patógenos é necessário para a saúde das pessoas (Amarasiri; Sano; Suzuki, 2020) e o destino correto dos nutrientes é essencial para o equilíbrio do meio ambiente (Palmioli *et al.*, 2020). O caminho correto para os nutrientes deveria seguir para o ciclo da produção de alimentos, caso contrário, o meio produtivo sofre escassez (Chávez-Dulanto *et al.*, 2021). Porém, o que ocorre frequentemente é a quebra dos ciclos biogeoquímicos, com excesso de nutrientes na cidade, que são despejados no ambiente sem o devido cuidado (Girones *et al.*, 2021), e por outro, a falta de nutrientes nas áreas produtivas (Yadav *et al.*, 2019).

Frente a isso, fazem-se necessárias soluções eficientes, sustentáveis, de baixo impacto ambiental, de custo acessível para o tratamento de efluentes domésticos e adaptadas para a realidade de cada região, de modo a promover o saneamento adequado e seguro, pois os sistemas tradicionais de coleta e tratamento de esgoto não têm sido suficientes e eficientes em todas as regiões. Isso resulta de inúmeros fatores como a falta de políticas públicas, criação e desenvolvimento e replicação de soluções descontextualizadas da realidade local, além do elevado custo financeiro e ambiental.

Para solos mal drenados, ou com lençol freático raso, como encontrado em várias regiões Amazônicas, destacamos o Tanque de Evapotranspiração (TEvap) como alternativa (Figueiredo; Santos; Tonetti, 2018). Esta técnica utiliza um sistema de digestão anaeróbia, filtragem e a evapotranspiração das plantas como forma de tratamento dos efluentes. O tanque que recebe a água residuária é preenchido com material filtrante, solo e espécies vegetais (Galbiati, 2009) com alto potencial de evapotranspiração, de modo que o sistema devolva o máximo de água limpa para atmosfera, com a produção de biomassa vegetal, e frutos, que podem ser utilizados para consumo humano (Figueiredo; Santos; Tonetti, 2018).

O TEvap é uma solução que já vem sendo utilizada em diversas regiões do Brasil, sua eficiência já foi comprovada por autores como Rezende *et al.* (2021), no Triângulo Mineiro; Galbiati (2009), no Mato Grosso; Souza *et al.* (2018), em Pouso Alegre (MG), e Silva (2017), na Paraíba. Porém, para a região amazônica, que apresenta altos índices pluviométricos, não existem estudos suficientes avaliando sua eficiência.

Sob o olhar de uma solução efetiva e de baixo custo, o presente trabalho descreve o TEvap como uma solução para uma região da Amazônia Oriental. Baseada no princípio

dos serviços ecossistêmicos prestados pelas plantas, com auxílio do sol, a alternativa pode ser utilizada tanto em áreas rurais, quanto em áreas urbanas, e é importante destacar que adaptações são necessárias para as particularidades de cada área. O sistema de saneamento, detalhado na área rural, foi instalado em solo com baixa capacidade de infiltração de água, que recebe influência periódica com inundações sazonais. Já em relação ao sistema implantado na área urbana, o solo não sofre inundações, porém, apresenta baixa capacidade de infiltração da água. Nesse caso, tanto na área rural, quanto na área urbana, o uso da fossa séptica como tratamento das águas residuárias não é uma solução eficiente.

1.2 Metodologia

1.2.1 Área de estudo

Os sistemas estudados foram implantados na Região Hidrográfica da Costa Atlântica – Nordeste. A unidade geológica Pós-Barreiras, dominada por Latossolos amarelos, sedimentos continentais de Formação Barreiras, sedimentos Holocênicos e na superfície por sedimentos da formação Pirabas (Matta, 2002).

Os TEvaps foram implantados em áreas não atendidas com saneamento básico (Figura 1.1). A implantação dos sistemas para o tratamento das águas residuárias foi realizada por iniciativa própria e recurso particular.

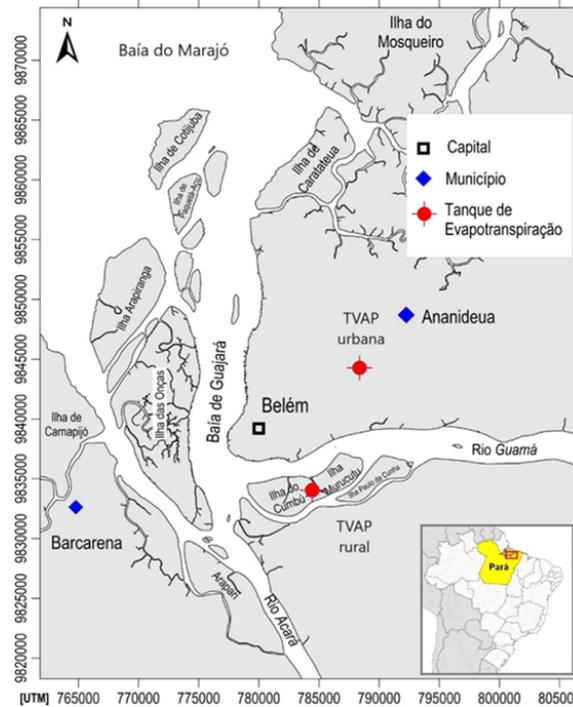
O estudo na área rural foi conduzido em uma residência ribeirinha, na Ilha do Combu (UTM 22S - 782540.93 m E, 9834044.73 m S), margem esquerda do Rio Guamá, no Estuário Guajarinó. A ilha, cercada por diversos rios e canais, faz parte da região do grande arquipélago Sul do conjunto insular do município de Belém. É a maior ilha do extremo Sul do município, classificada como Área de Proteção Ambiental (APA) (Belém, 2008). A região na qual foi implantada o TEvap rural apresenta topografia de várzea alta, com inundações durante o período de equinócio, nas marés de sizígias. Os solos dominantes são do tipo Gleysolo Háptico (Gama *et al.*; 2020). Ao longo dos últimos anos, a Ilha do Combu vem sofrendo um intenso processo de pressão imobiliária, ambiental e econômica. Atualmente a ilha integra roteiros turísticos nacionais e internacionais, o que mudou completamente o ambiente natural e o modo de vida da população nativa, que antes vivia basicamente do extrativismo.

Ao longo dos últimos anos, inúmeros estabelecimentos comerciais foram implantados na Ilha do Combu, no momento presente cerca de 50 estão funcionando, são locais que fornecem alimentação, hospedagem e lazer para turistas. Apesar dos atrativos naturais e de lazer a região ainda sofre com sérios problemas com a falta de saneamento básico tais como a falta de água potável, tratamento e destinação adequada de seus esgotos sanitários ocasionando sérios problemas de saúde da população local e dificultando o processo de autodepuração das águas dos furos do Combu.

O TEvap urbano foi construído no Condomínio horizontal Eco's Paradise (UTM 22S - 788362.72 m E; 9844280.67 m S), localizado no bairro Guanabara, município de

Ananindeua-Pará (Figura 1.1). O condomínio não é atendido pela rede pública coletora de esgoto e o tratamento recomendado para as águas residuárias é o uso de fossa séptica, que não tem se mostrado eficiente.

Figura 1.1: Mapa de localização dos tanques de evapotranspiração.



Fonte: Os autores(2024).

O Condomínio fica próximo à divisa do município de Ananindeua com o município de Belém e lindeiro ao Parque Estadual do Utinga (PEUt), unidade de conservação estadual que integra o território de Belém. O plano diretor de Ananindeua define a área como área de Urbanização Restrita, sendo destinada à preservação ambiental, à contenção e desestímulo da ocupação por necessidade de preservação dos seus elementos naturais e patrimônio, proteção ambiental e por sua vulnerabilidade às intempéries (Ananindeua, 2006). O solo da região é argiloso, por vezes encharcado e com baixa taxa de infiltração.

1.2.2 Características climáticas

O clima da área de estudo é do tipo “Af”, que caracteriza clima equatorial úmido. A caracterização foi realizada com dados de 12 estações meteorológicas, do Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional das Águas - Hidro Web, localizadas na sub-bacia Guamá-Moju. A precipitação média anual da Bacia foi de $2.475,0 \pm 131,9$ mm.ano⁻¹, (série histórica de 1986 a 2015) (Hidroweb, 2019). A região apresenta forte sazonalidade, com dois períodos característicos, o período mais e menos chuvoso, não registrando período seco. Durante o período mais chuvoso, entre os meses de janeiro a julho, a alta vazão dos rios, associado às marés de sizígias, resultam em inundações na ilha.

1.2.3 Determinação da capacidade de infiltração da água no solo

A capacidade de infiltração de água no solo foi determinada pelo método de anéis concêntricos (Cauduro; Dorfman, 1990). O infiltrômetro utilizado, composto por dois anéis metálicos, foi cravado verticalmente no solo, a uma profundidade de 15 cm. Primeiro o anel externo de 40 cm de diâmetro por 20 cm de altura foi cravado, e posteriormente, de forma centralizada, o anel interno, com 20 cm de diâmetro e 20 cm de altura. Após inseridos no solo, uma lâmina de 10 cm de água foi aplicada sobre o solo. A água aplicada no anel externo, faz com que a água do anel interno infiltre verticalmente no solo. Para calcular a taxa de infiltração, foi medido o volume de água do anel interno que infiltrou no solo em função do tempo, por meio da aferição de uma régua que media a redução da lâmina de água.

As leituras de medição foram realizadas em minutos de forma a construir as curvas de infiltração e taxa de infiltração. A taxa de infiltração da água no solo decresce com o tempo em função do umedecimento do perfil, assumindo um valor mínimo quase constante. Ademais, a velocidade de infiltração é fortemente influenciada pelo perfil, pelas condições da superfície, bem como da umidade inicial do solo. Os testes foram realizados no período chuvoso da região.

1.2.4 Cota de alagamento da área de implantação do TEvap rural

Devido à falta de dados de variação do nível da água e cota de inundação na ilha do Combu, foram usadas informações dos moradores locais. Estes afirmam que o nível máximo de alagamento chega cerca de 50 cm acima do solo.

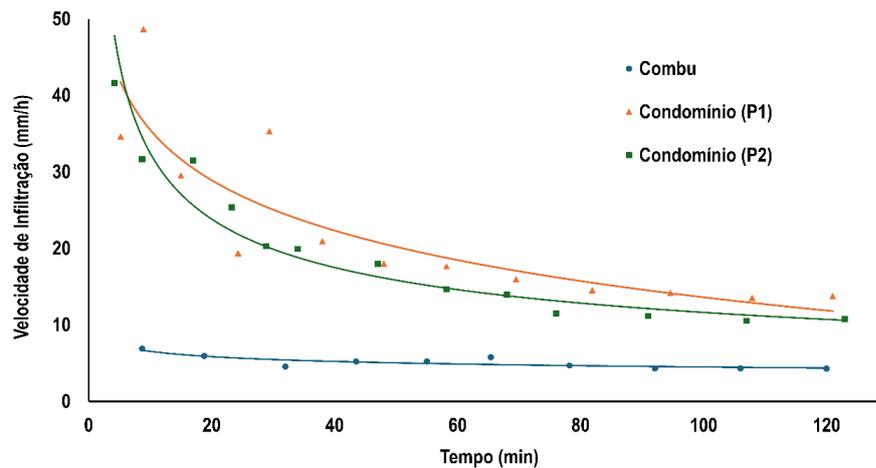
1.3 Resultados

1.3.1 Capacidade de infiltração da água no solo

A Velocidade de Infiltração Básica (VIB) medida no solo próximo ao TEvap rural, na casa ribeirinha, na ilha do Combu, foi aproximadamente 4,3 mm. hora-1 (Figura 1.2), caracterizando VIB baixa (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006). Já as VIBs medidas dentro do Condomínio urbano, em Ananindeua, nos pontos 1 e 2, foram caracterizadas como médias (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006), pois apresentaram valores aproximados de 12,5 e 10,7 mm. hora-1 (Figura 1.2), respectivamente.

A característica franco-argilosa do solo do Combu e franco-arenosa-argilosa dos solos do Condomínio, deduzidas a partir dos valores de VIB obtidos (Bernardo; Soares; Mantovani, 2006), refletem a granulometria mais fina do solo, que contribui para retenção da água e retarda o processo de drenagem (Brady; Weil, 2009), situação que é potencializada na residência rural pela proximidade com o rio, lençol freático raso e frequente encharcamento do solo.

As características físicas dos solos estudados podem, possivelmente, comprometer o funcionamento de métodos convencionais de tratamento de efluentes domésticos, como as

Figura 1.2: Gráfico da velocidade de infiltração da água nos solos estudados.

Fonte: Os autores (2024).

fossas sépticas. Devido à falta de uma rede coletora de esgoto doméstico, tanto no meio urbano, quanto no meio rural, a recomendação dada pelos órgãos públicos é a implantação de fossas sépticas, porém a baixa capacidade de infiltração da água no solo pode acarretar a sobrecarga de efluente no sumidouro e seu transbordamento, trazendo prejuízos como a contaminação do meio e mal cheiro. No condomínio urbano, são frequentes os relatos dos moradores, especialmente durante o período chuvoso, da necessidade de esgotamento da fossa séptica, com caminhão limpa fossa. Para alguns, a rotina se repete a cada 60 dias, ou seja, a fossa séptica não é eficiente nesta região. A sobrecarga de efluente contaminado é um risco para a contaminação do manancial de abastecimento de água para a Região Metropolitana de Belém, localizado a aproximadamente 100 metros das residências mais próximas ao lago.

Para que se possa alcançar a universalização do saneamento básico, sistemas alternativos rigorosamente testados são um caminho. Os TEvaps são uma solução de baixo custo e eficiência em condições climáticas de altos índices pluviométricos e solo de baixa drenagem, além de terem seu funcionamento movido pelo processo de evapotranspiração e não dependerem necessariamente da taxa de infiltração do solo.

1.3.2 Implantação e adaptação dos TEvaps para as diferentes áreas

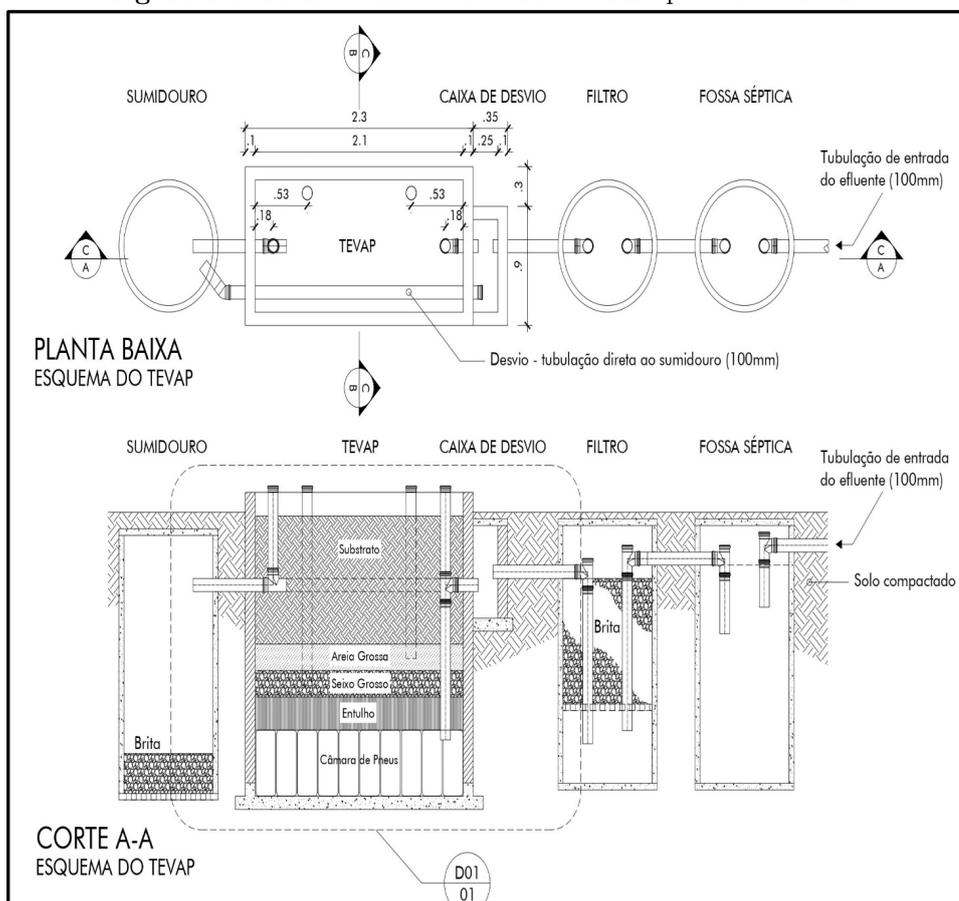
A implantação dos TEvaps requer cuidados para que o sistema seja eficiente. O primeiro deles é o local, com boa incidência da luz solar sobre as plantas, força motriz do sistema, para que o processo de evapotranspiração das plantas possa acontecer. Outro ponto é a escolha de espécies vegetais com alto potencial de evapotranspiração, de modo que a transferência da água para a atmosfera, parte predominante do esgoto (99%), seja o suficiente.

Devido aos elevados índices pluviométricos da região, foram realizadas adaptações na estrutura dos tanques, visando o melhor desempenho, prevenindo extravasamentos e consequente contaminação do solo, durante o período chuvoso.

1.3.3 TEvap em área urbana

Devido à baixa capacidade de drenagem do solo, que inviabiliza o bom funcionamento da fossa séptica no condomínio urbano, foi realizado o acoplamento do TEvap ao sistema de tratamento padrão exigido pelo condomínio (Figura 1.3). A construção do TEvap foi realizada em março de 2022 e seu funcionamento iniciou em janeiro de 2023. De modo a evitar a reconstrução de todo o sistema de esgotamento sanitário já implantado na residência, o TEvap foi inserido no sistema, entre o filtro anaeróbico e o sumidouro já implantados.

Figura 1.3: Planta baixa e corte A-A do TEvap da área urbana.



Fonte: Os autores (2024).

O dimensionamento do TEvap urbano foi realizado conforme o método proposto por Ercole (2003), considerando a contribuição máxima de esgoto produzido por 4 pessoas ($4,50\text{m}^3$) e as particularidades locais, como o tipo de solo e incidência de chuvas. Seu dimensionamento prevê o recebimento das águas residuárias advindas de todas as atividades realizadas na residência. Devido à reduzida área superficial de 1,10 m de largura e 2,5

m de comprimento disponível para construção, foi aumentada a profundidade do tanque para 2m, como medida compensatória, quando comparado à recomendação da literatura (Figueiredo; Santos; Tonetti, 2018).

O método construtivo empregado contou com a escavação manual da terra, de modo que o TEvap ficou enterrado, com as paredes elevadas cerca de 0,20 m acima do nível do solo, para evitar a entrada de água via escoamento superficial. A construção foi realizada com paredes em alvenaria utilizando tijolos cerâmicos de 6 furos e impermeabilizada com reboco aditivado. As instalações de esgoto foram realizadas com tubos de PVC de 100mm.

O interior do tanque seguiu o padrão difundido do TEvap, com pneus de carro (0,45m de diâmetro) enfileirados e centralizados no fundo do tanque, de modo a formar uma câmara anaeróbia ou câmara de fermentação séptica, segundo recomendações de Pamplona e Venturi (2004). O primeiro pneu da câmara de fermentação foi perfurado na parte superior, no qual foi encaixado um T de PVC 100 mm, de modo a formar um caminho para passagem da água para a câmara séptica (saída perpendicular inferior). Já a saída perpendicular superior é necessária para eventuais inspeções e monitoramento do nível de efluente dentro do TEvap (Figura 1.3).

As laterais da câmara de fermentação séptica foram preenchidas com cacos de tijolos e entulho, oriundos de demolições de construções do próprio terreno, formando uma camada com altura de 0,75 m. Acima do entulho despejou-se uma camada de seixo grosso, com aproximadamente 0,20 m, seguida de 0,20 m de areia, com a função de filtro para retenção de nematoides. Acima das camadas filtrantes, o substrato de 0,95 m de terra preta, com elevada quantidade de matéria orgânica, foi necessária para preencher o conteúdo interno do TEvap, no qual foram plantadas as espécies vegetais (Figura 1.3).

Foram introduzidos elementos de inspeção ao sistema (tubos de PVC de 100 mm), para que seu funcionamento pudesse ser monitorado ao longo do tempo. Os pontos de inspeção foram colocados em diferentes níveis de profundidade, sendo no nível da câmara de pneus, nível do seixo, nível da areia grossa e da camada de solo. Outra adaptação do sistema foi a introdução de uma caixa de desvio, acoplada à entrada do efluente no TEvap. A caixa permite o desvio do esgoto diretamente ao sumidouro, caso haja a necessidade de manutenção ou interrupção da entrada do efluente (Figura 1.3).

Um fator fundamental para a manutenção e bom funcionamento do sistema é a escolha de plantas com grande capacidade evapotranspirativa (Ferreira *et al.*, 2024). As plantas são as responsáveis pela retirada da água do sistema e seu lançamento para a atmosfera na forma de vapor. As espécies vegetais plantadas no TEvap urbana foram: *Musa paradisiaca* (Bananeira Roxa ou São Tomé), *Musa acuminat subsp acuminata* (Bananeira Anã), *Musa Ornata* (Bananeira Ornamental), *Xanthosoma sagittifolium* (taioba), Vindicá Pajé (*Alpinia purpurata*), *Heliconia sp.*, *Caladium bicolor* (Tajá) e *Carica papaya* (Mamoeiro) (Figura 1.4). Após o plantio, o solo foi coberto com matéria orgânica seca, como folhas de bananeira e de palmeiras, e em seguida as plantas foram irrigadas ao longo de uma semana, até que o sistema radicular pudesse se estabilizar na nova área. Em seguida, o TEvap já iniciou o

recebimento das águas residuárias, e o efluente ascendente dentro do sistema foi suficiente para a demanda das plantas, que não apresentaram murchamento.

Figura 1.4: Imagem do TEvap implantado no condomínio em área urbana.



Fonte: Os autores (2024).

1.3.4 TEvap em área rural

Na Ilha do Combu, a contaminação do rio, especialmente pelo lançamento de esgoto pelos estabelecimentos comerciais e residenciais sem tratamento ou tratamento inadequado, tem degradado a qualidade da água. Os danos gerados afetam a saúde pública, o meio ambiente e o potencial turístico da Ilha. Para contornar a falta de um sistema seguro e eficiente de coleta e tratamento de esgoto, foi construído um TEvap em uma residência ribeirinha, cuja dona é produtora de cacau e chocolate, e atualmente é referência em turismo ecológico.

O TEvap foi implantado em fevereiro de 2023 e está em funcionamento desde março de 2023. Construído em solo de várzea, sazonalmente inundado, seu dimensionamento seguiu a metodologia proposta por Ercole (2003). A capacidade do tanque, de 2 m de comprimento, 1,5 m de largura e 1,8 m de profundidade, levou em consideração a utilização do sistema por até 3 pessoas, dimensionado para recebimento apenas das águas residuárias fecais, advindas do vaso sanitário da casa.

O método construtivo empregado foi a escavação manual da terra. A implantação em área de várzea exigiu adaptações, pois ocorrem alterações regulares nos níveis da água do rio, com cheias sazonais. O TEvap ficou parcialmente enterrado, com as paredes elevadas cerca de 80 cm acima do nível do solo, de modo a evitar a entrada de água com a elevação das marés. A altura máxima de inundação do solo, de aproximadamente 50 cm, ocorre durante o período mais chuvoso, em eventos que coincidem com a maré alta.

Para solos encharcados de várzea amazônica, é de extrema importância que se faça uma boa impermeabilização do tanque, a fim de evitar a infiltração de água para dentro do sistema. A câmara de fermentação foi construída de forma similar à da área urbana. As

laterais da câmara foram preenchidas com tijolos cerâmicos porosos e vazados, oriundos de uma antiga demolição. Acima desta camada, 0,15 m de seixo médio e 0,15 m de areia fina formam a camada filtrante. Para o preenchimento completo do TEvap, foi necessário 0,70 m de substrato no qual foi realizado o plantio de espécies vegetais (Figura 1.5). As espécies vegetais plantadas foram *Musa sp.* (Bananeira), *Xanthosoma sagittifolium* (taioba) e *Zingiber spectabile* (Xampu ou gengibre ornamental).

Figura 1.5: Imagem do TEvap implantado no condomínio em área rural.

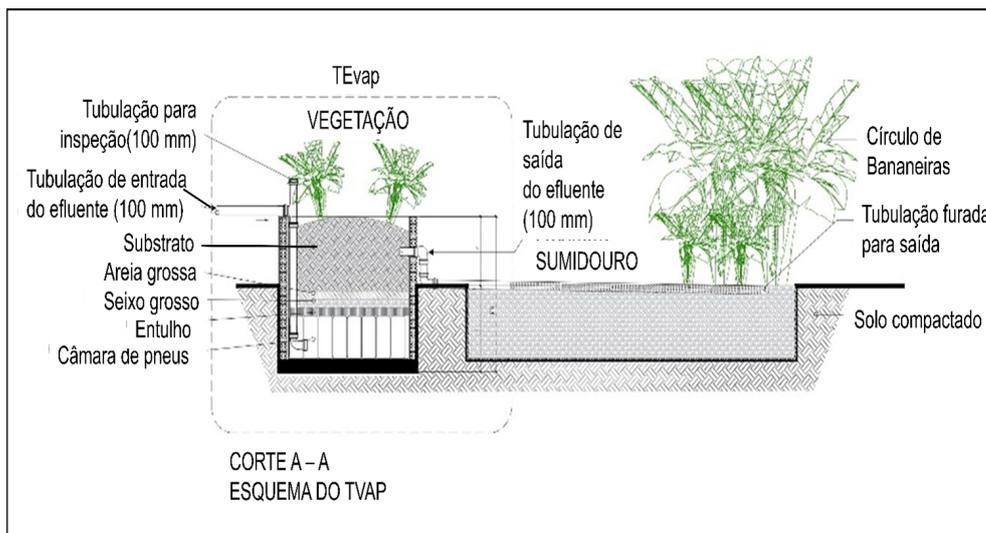


Fonte: Os autores (2024).

Para esta região de várzea, na qual o sumidouro enterrado não permite infiltração da água, foi necessário a adaptação de um sumidouro superficial (Figura 1.5), o qual consiste em um cano que conduz um possível acúmulo de água excedente oriundo de eventos extremos de chuva, até um círculo de bananeiras. Instalado do lado oposto da entrada da água, a construção do sumidouro foi realizada com tubo PVC de 100 mm de diâmetro e comprimento de 8 m, de forma centralizada, a 30 cm da borda superior do tanque do TEvap. O tubo teve sua entrada na camada de terra preta, com a finalidade de escoar o efluente que eventualmente possa ter seu nível elevado dentro do TEvap. Nesse caso, ao chegar na camada de terra preta, o líquido tratado, sem contaminantes biológicos, segue para infiltração em vala escavada superficialmente, preenchida por seixo grosso. A técnica aqui aplicada visa à distribuição da água em uma área maior, que facilite a absorção da água pelas plantas e a infiltração no solo (Figura 1.6). Segundo estudos realizados por Ercole (2003), os patógenos podem chegar até a camada de areia dentro do TEvap.

O TEvap tem potencial para funcionar sem a instalação de sumidouro, porém, em áreas com elevada precipitação pluviométrica, como a região em estudo, ela poderá extravasar em eventos extremos (Figueiredo *et al.*, 2019). O extravasamento deve ser evitado, pois expõem o efluente doméstico ao ambiente, com um risco de contaminação biológica do ambiente externo. O funcionamento, ao longo de um ano hidrológico do TEvap (de março de 2023 a março de 2024), não apresentou transbordamento, emissão de odor, nem mesmo dificuldades para receber os efluentes, mesmo sendo implementada em uma área que sofre com alagamentos esporádicos, em especial no período mais chuvoso (dezembro a maio) (Bastos, 2002). As paredes construídas, a cerca de 80 cm acima do solo, contribuíram para

Figura 1.6: Corte A-A do TEvap da área rural.



Fonte: Os autores (2024).

o não alagamento e encharcamento do solo onde a TEvap rural foi construída, visto que a cota de alagamento considerada é de 50 cm.

1.4 Considerações finais

Devido às condições climáticas da região metropolitana de Belém e de suas áreas com terrenos alagados e/ou lençol superficial, os TEvaps têm se apresentado como uma forma eficiente de tratamento dos efluentes sanitários. O funcionamento, sem transbordamento, ausência de odores e o alto consumo de água pelas plantas faz destes tanques uma forma segura e sustentável para os que não possuem alternativas para o tratamento dos efluentes domésticos ou para os que buscam tratamentos ecológicos. A *eco tecnologia social*, com responsabilidade ambiental, não contamina o meio ambiente além de usar como matéria prima resíduos, como pneus e entulhos oriundos da construção civil. Ademais, as normas brasileiras vigentes não elucidam a problemática e as técnicas tradicionais possíveis a serem usadas no tratamento de efluentes sanitários para áreas especiais como áreas alagadas e/ou com lençol superficial, muito comuns na região Norte do país, não têm se mostrado eficientes.

Além do tratamento seguro das águas residuárias domésticas, as plantas valorizam o ambiente pelo paisagismo, sendo uma alternativa eficiente, com baixo custo de implantação e manutenção, quando comparado às fossas sépticas convencionais. A manutenção dos TEvaps se resume à poda das plantas, e seu funcionamento se baseia na ciclagem dos nutrientes e da água. Impulsionado pela energia do sol, a evapotranspiração devolve água limpa para a atmosfera, iniciando novamente seu ciclo. Pela diversidade vegetal, de fungos decompositores e a fauna que se estabeleceu nos TEvaps, pode-se concluir que ocorreu a formação de um micro ecossistema com potencial de se autossustentar. Salienta-se também que a capacidade de infiltração da água no solo e as condições de inundações e alagamentos

são fundamentais para determinar o tipo e o tamanho do sumidouro, e se o TEvap será enterrado totalmente ou parcialmente no solo.

Como solução individualizada por unidade habitacional, o TEvap é uma tecnologia promissora, pois possibilita o uso em áreas onde os métodos tradicionais não poderiam ser usados, tal como fossa séptica e sumidouros, além de reduzir a pressão sobre os grandes sistemas públicos de saneamento, possibilitando também a produção de alimentos como frutos e folhas livres de contaminação, assim como fonte de biomassa. Essa técnica também pode ser utilizada como elemento estético com a introdução de espécies ornamentais, capazes de consumir grandes volumes de água.

1.5 Referências

- AMARASIRI, Mohan; SANO, Daisuke; SUZUKI, Satoru. Understanding human health risks caused by antibiotic resistant bacteria (ARB) and antibiotic resistance genes (ARG) in water environments: Current knowledge and questions to be answered. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v. 50, n. 19, p. 2016-2059, 2020.
- ANANINDEUA. **Lei nº 2.237, de 6 de outubro de 2006**. Institui o Plano Diretor do Município de Ananindeua e dá outras providências. Ananindeua, PA: Prefeitura Municipal, 2006.
- ARORA, Naveen Kumar; MISHRA, Isha. United Nations Sustainable Development Goals 2030 and environmental sustainability: race against time. **Environmental Sustainability**, v. 2, n. 4, p. 339-342, 2019.
- BASTOS, T. X. *et al.* Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos. **Documentos 128 Embrapa**, 2002.
- BECERRA, Melgris José et al. The Indigenous Territories and Local Sustainable Development in the Amazon Region. *In*: SINGH, R. B. *et al.* **Practices in Regional Science and Sustainable Regional Development: Experiences from the Global South**. Berlim: Springer, p. 69-112, 2021.
- BELÉM. **Lei nº 8.655, de 20 de julho de 2008**. Aprova o Plano Diretor do Município de Belém e dá outras providências. Belém: Diário Oficial do Município, 2008.
- BERNARDO, S.; SOARES A. A.; MANTOVANI, E. **Manual de irrigação**. 8 ed. Viçosa: Editora UFV, 2006.
- BORGES-PEDRO, João Paulo et al. Avaliação de cenários de WASH em escolas urbanas e rurais de uma pequena cidade da Amazônia brasileira. **Acta Amazônica**, v. 48, p. 75-82, 2018.
- BRADY, Nyle C.; WEIL, Ray R. **Elementos da natureza e propriedades dos solos**. 3 ed. Porto Alegre: Bookman Editora, 2009.

- CANHOLI, Aluísio Pardo. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. 2 ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.
- CAUDURO, F. A.; DORFAMAN, r. 1990. **Manual de ensaios de laboratório e campo para irrigação e drenagem**. Porto Alegre: PRONI/IPH – UFRGS, 1993.
- CHÁVEZ-DULANTO, P. N. *et al.* Increasing the impact of science and technology to provide more people with healthier and safer food. **Food and Energy Security**, v. 10, n. 1, p. 1-31, 2021.
- DIAS, D. M. *et al.* Morbimortalidade por gastroenterites no Estado do Pará, Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, n. 1, v. 1. p. 53-60. 2010.
- DAS, S. K. *et al.* Understanding and approaches towards circular bio-economy of wastewater reuse in fisheries and aquaculture in India: An overview. **Reviews in Aquaculture**, v. 15, n. 3, p. 1100-1114, 2023.
- DE ANDRADE, Leonardo Capeleto *et al.* The sustainable development goals in two sustainable development reserves in central Amazon: Achievements and challenges. **Discover Sustainability**, v. 2, n. 1, p. 1-54, 2021.
- DUARTE, Miriam Nunes Branco Pereira. **Prevenção das Parasitoses Gastrointestinais de transmissão fecal-oral**. 2005. 153 f. Dissertação (Mestrado em Biologia para o Ensino) - Faculdade de Ciências, Universidade do Porto, Porto, 2005.
- ERCOLE, L. A. S. **Sistema modular de gestão de águas residuárias domiciliares: uma opção mais sustentável para a gestão de resíduos líquidos**. 2003. 180 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- FASSONI-ANDRADE, Alice César *et al.* Amazon hydrology from space: scientific advances and future challenges. **Reviews of Geophysics**, v. 59, n. 4, p. 1-97, 2021.
- FERREIRA, R. C. *et al.* Estudo da perda de água em tanques de evapotranspiração (TEvap) cultivados com diferentes espécies vegetais. **Cadernos de Agroecologia**, v. 19, n. 1, 2024.
- FIGUEIREDO, I. C. *et al.* Bacia de Evapotranspiração (BET): uma forma segura e ecológica de tratar o esgoto de vaso sanitário. **Revista DAE**, v. 67, n. 220, p 115 – 127, 2019.
- FIGUEIREDO, I. C. S.; SANTOS, B. S. C.; TONETTI, A. L. **Tratamento de esgoto na zona rural: fossa verde e círculo de bananeiras**. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018.
- GALBIATI, A. F. **Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração**. 2009. 38 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais) – Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso Sul, Campo Grande, 2009.

- GAMA, J. R. N. F. *et al.* Solos do estado do Pará. In: BRASIL, E. C.; CRAVO, M. S.; VIÉGAS, I. J. M. *Recomendações de calagem e adubação para o estado do Pará*. 2. ed. Brasília: Editora Embrapa, 2020. p. 25 – 46.
- GARNELO, Luiza *et al.* Barriers to access and organization of primary health care services for rural riverside populations in the Amazon. **International Journal for Equity in Health**, v. 19, p. 1-14, 2020.
- GIRONES, Lautaro *et al.* Persistent organic pollutants (POPs) in coastal wetlands: A review of their occurrences, toxic effects, and biogeochemical cycling. **Marine Pollution Bulletin**, v. 172, 2021.
- HIDROWEB - Sistema de Informações Hidrológicas da Agência Nacional das Águas. **Série Histórica 2019**. Site institucional, 2019 Disponível em: www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/mapa_hidroweb.jsf.
- JÚNIOR, S. J. de A. *et al.* Variabilidade espacial do conforto térmico e a segregação social do espaço urbano na cidade de Belém, PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 28, n. 4, p.419-428, dez. 2013.
- ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável**. Brasília: MDS, 2015. Disponível em: https://www.mds.gov.br/webarquivos/publicacao/Brasil_Amigo_Pesso_Idosa/Agenda2030.pdf. Acesso em: 25 abr. 2025.
- PAMPLONA, Sérgio; VENTURI, Marcelo. **Esgoto à flor da terra. Permacultura Brasil – Soluções Ecológicas**, v. 6, n. 16, p 17 – 20, 2004.
- SOUZA, L. S. *et al.* Tratamento de água negra domiciliar através de bananeiras por tanque de evapotranspiração. **Atas de Saúde Ambiental-ASA**, v. 6, p. 235-248, 2018.
- SCHABARUM, Joseane Carla *et al.* Small chains of food commercialization, family farming and the countryside - city relationship. **International Journal of Environmental Resilience Research and Science**, v. 5, n. 02, p. 1-20, 2023.
- SILVA, Josefa Camila Araújo. **Tratamento de esgoto doméstico através de círculo de bananeiras e tanque de evapotranspiração**. 2017. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 2017.
- SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Site institucional, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/painel>. Acesso em: 20 out. 2024
- MATTA, M. A. S. **Fundamentos hidrogeológicos para a gestão integrada dos recursos hídricos da região de Belém/Ananideua - Pará, Brasil**. 2002. 283 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2002.

MATHEWS, M. C. How village leaders in rural Amazonia create bonding, bridging, and linking social capital configurations to achieve development goals, and why they are so difficult to maintain over time. **World Development**, v. 146, 2021.

MATTOS, J. B. *et al.* Fatores naturais ou negligência ambiental? Compreendendo o dilema de uma crise hídrica num cenário de abundância hídrica. **Política de Uso do Solo**, v. 82, p. 509-517, 2019.

MIRANDA, Raizza *et al.* Amazônia Sustentável: Uma Investigação Sistêmica com Populações Nativas. **Sustentabilidade**, v. 15, n. 9, 2023.

NEU, Vania; DOS SANTOS, Marcos Antônio Souza; MEYER, Leandro Frederico Ferraz. Banheiro ecológico ribeirinho: saneamento descentralizado para comunidades de várzea na Amazônia. **Revista em extensão**, v. 15, n. 1, p. 28-44, 2016.

NEULINGER, Agnes *et al.* Food consumption patterns and healthy eating across the household life cycle in Hungary. **International Journal of Consumer Studies**, v. 35, n. 5, p. 538-544, 2011.

NUGENT, Stephen. **Amazonian Caboclo Society: An Essay on Invisibility and Peasant Economy (Explorations in Anthropology)**. Londres: Routledge, 2021.

PALMIOLI, Lúcia *et al.* Estratégias das pequenas explorações agrícolas entre o autoabastecimento e a integração socioeconômica: Efeitos na capacidade do sistema alimentar para proporcionar segurança alimentar e nutricional. **Meio Ambiente Local**, v. 25, n. 1, p. 43-56, 2020.

REZENDE, Diego Cesar Veloso *et al.* Tanque de evapotranspiração no tratamento de esgoto sanitário na propriedade rural. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 3, p. 627-639, 2021.

VIEIRA, M. R. S. *et al.* Mapeamento de áreas de risco a inundações com imagens alos palar: estudo de caso em Belém (PA). **Acta Geográfica**, v. 16, n. 40, p. 47-63, 2022.

YADAV, G. S. *et al.* Conservation tillage and nutrient management effects on productivity and soil carbon sequestration under double cropping of rice in north eastern region of India. **Ecological Indicators**, v. 105, p. 303-315, 2019.