

500 – TECNOLOGIAS PARA O SANEAMENTO SUSTENTÁVEL: UM OLHAR SOBRE AS BACIAS DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO NO BRASIL

Maria Eduarda Pereira de Almeida ⁽¹⁾

Engenheira Civil (UFRN), mestra e doutoranda em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente (UNICAMP). Professora colaboradora da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU) da UNICAMP.

Isabel Campos Salles Figueiredo ⁽²⁾

Bióloga (UFSCar), mestra em Ecologia (UnB) e doutora em Engenharia civil na área de Saneamento e Ambiente (UNICAMP). Pesquisadora colaboradora da UNICAMP e atua na área de saneamento rural na ONG Iniciativa Saneamento Inclusivo (SI).

Vanessa Mariano Rosa ⁽³⁾

Tecnóloga em Hidráulica e Saneamento (FATEC-SP), Engenheira Civil (UAM), mestra e doutoranda em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente (UNICAMP). Consultora em estudos e projetos de saneamento ambiental.

Renata Vieira de Sousa e Silva ⁽⁴⁾

Técnica em Edificações (COTIL/UNICAMP), Engenheira Civil (UNICAMP) e mestranda em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente (UNICAMP).

Adriano Luiz Tonetti ⁽⁵⁾

Engenheiro Químico (UNICAMP), mestre e doutor em Engenharia Civil na área de Saneamento e Ambiente (UNICAMP). Professor Livre-Docente da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo (FECFAU) da UNICAMP.

Endereço ⁽¹⁾: Av. Albert Einstein, 951 Cidade Universitária – Campinas - São Paulo. CEP: 13083-852 – Brasil - Tel.: +55 (84) 99463-7237. e-mail: m262645@dac.unicamp.br.

RESUMO

As Bacias de Evapotranspiração (BET) configuram-se como uma tecnologia sustentável voltada ao tratamento de esgoto doméstico, com especial aplicabilidade em áreas rurais. O presente estudo teve como objetivo identificar materiais e técnicas comumente utilizados na construção de BETs no território brasileiro, contribuindo para a consolidação dessa solução descentralizada de saneamento. Por meio da aplicação de um questionário online direcionado a profissionais e pesquisadores com experiência prática com a tecnologia, foram obtidas informações sobre aspectos construtivos, tipos de efluentes tratados, formas de dimensionamento e espécies vegetais utilizadas. Os resultados indicam que a maioria dos sistemas é destinada exclusivamente ao tratamento de águas negras, adota geometria retangular e área superficial entre 1 m²/pessoa e 2 m²/pessoa. Pneus usados destacaram-se como principal material utilizado para a conformação da câmara central, enquanto tijolos cerâmicos, blocos de concreto e lona impermeável foram os mais citados para a estrutura externa. A bananeira foi a espécie vegetal mais empregada. Depreende-se que, embora as BETs estejam disseminadas no território nacional, ainda há desafios quanto à padronização de práticas e materiais. O estudo reforça o potencial da tecnologia como alternativa viável para o saneamento ecológico e a gestão integrada de resíduos e recursos.

PALAVRAS-CHAVE: saneamento rural, comunidades isoladas, TEvap, BET, fossa de bananeira.

INTRODUÇÃO

Práticas e intervenções eficazes no setor de saneamento são reconhecidas como fundamentais para a promoção da saúde pública, bem como para o fortalecimento do desenvolvimento social e econômico das populações (UNICEF e WHO, 2020). Entretanto, a gestão eficiente dos sistemas de esgotamento sanitário persiste como um desafio significativo, particularmente em países de baixa e média renda. Nessas regiões, observa-se frequentemente uma cobertura insuficiente nas áreas rurais e dificuldades dos centros urbanos em atender às demandas geradas pela rápida urbanização, além da manutenção dos sistemas já existentes.

Nesses cenários, observa-se uma crescente valorização das tecnologias sociais, isto é, metodologias, técnicas ou produtos desenvolvidos em conjunto com a comunidade considerando a participação coletiva desde o processo de organização, desenvolvimento, implementação e disseminação, que podem ser replicadas em

diferentes localidades respeitando-se as diferenças culturais entre elas (EMATER-MG e FBB, 2016). Entre as tecnologias sociais idealizadas para o tratamento de esgoto, a Bacia de Evapotranspiração (BET) tem ganhado destaque.

Esse sistema, também conhecido por termos como tanque de evapotranspiração (TEvap), fossa de bananeira, fossa evapotranspiradora, ecofossa, fossa verde, fossa bio-séptica ou canteiro bio-séptico (Figueiredo *et al.*, 2018; Figueiredo, 2019; Figueiredo *et al.*, 2019), é uma tecnologia destinada ao tratamento de águas provenientes de vasos sanitários, que permite o reaproveitamento da água e dos nutrientes contidos no esgoto. Sua estrutura (Figura 1) é composta essencialmente por três elementos: um compartimento central responsável pela digestão preliminar e anaeróbia do esgoto, uma ou mais camadas de material filtrante e uma zona vegetada com espécies selecionadas (Tonetti *et al.*, 2018). Nesse sistema, a remoção da água ocorre via evapotranspiração, enquanto os nutrientes presentes são absorvidos pelas plantas.

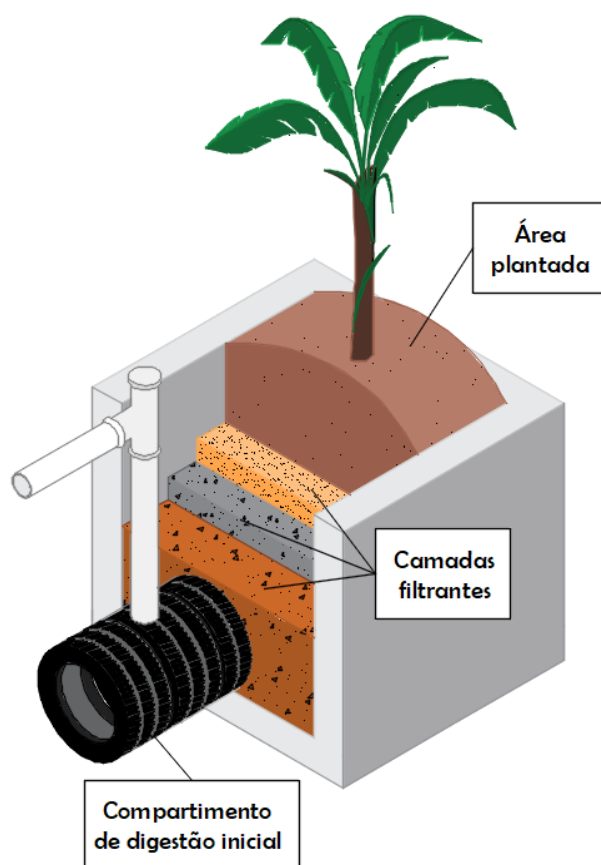


Figura 1: Composição da bacia de evapotranspiração.

Os primeiros registros da implantação de BET no Brasil datam do início dos anos 2000 (Pamplona e Venturi, 2004). Entretanto, sua popularização ocorreu apenas anos depois, impulsionada pela disseminação da tecnologia entre grupos brasileiros de permacultura (Galbiati, 2009). Esta tecnologia tem como inspiração o sistema Watson-Wick, desenvolvido pelo permacultor norte-americano Tom Watson, mas enfrentou desafios iniciais de implementação devido à indisponibilidade de determinados materiais no mercado nacional (EMATER e FBB, 2016; Pamplona e Venturi, 2004). Assim, para viabilizar a sua implantação no Brasil, construtores brasileiros adaptaram o sistema, introduzindo materiais e métodos construtivos amplamente disponíveis e consolidados no país.

Essas adaptações resultaram no surgimento de diversas variações técnicas, frequentemente aplicadas de maneira empírica, especialmente em um cenário marcado pela ausência de regulamentação e normatização específica e pela disseminação gradual do sistema. Contudo, com a publicação da NBR 17076 (ABNT, 2024), a BET passou a integrar a lista de tecnologias para tratamento de esgoto, dando mais visibilidade para esse sistema. A norma, no entanto, enquadra a BET como um sistema para disposição final do efluente líquido

tratado e não especifica padrões construtivos detalhados, materiais ou critérios rigorosos de dimensionamento do sistema, abrindo margem para variações entre os sistemas construídos em diferentes localidades.

Diante desse contexto, o presente estudo buscou reunir informações sobre as BETs brasileiras já implementadas, por meio da aplicação de um questionário direcionado a profissionais e pesquisadores com experiência prática e construtiva no tema. O objetivo principal é identificar os materiais, técnicas construtivas e práticas consolidadas nacionalmente, de forma a contribuir para o avanço no conhecimento e na aplicação desta tecnologia.

METODOLOGIA

As informações foram coletadas por meio de um questionário online, divulgado via redes sociais e e-mail, direcionado a profissionais autônomos, empresas, instituições, órgãos públicos, pesquisadores e docentes envolvidos com saneamento básico em áreas rurais que possam ter tido experiência prática com a construção de BETs em território brasileiro.

Os questionamentos feitos aos participantes da pesquisa estão apresentados na Figura 2.

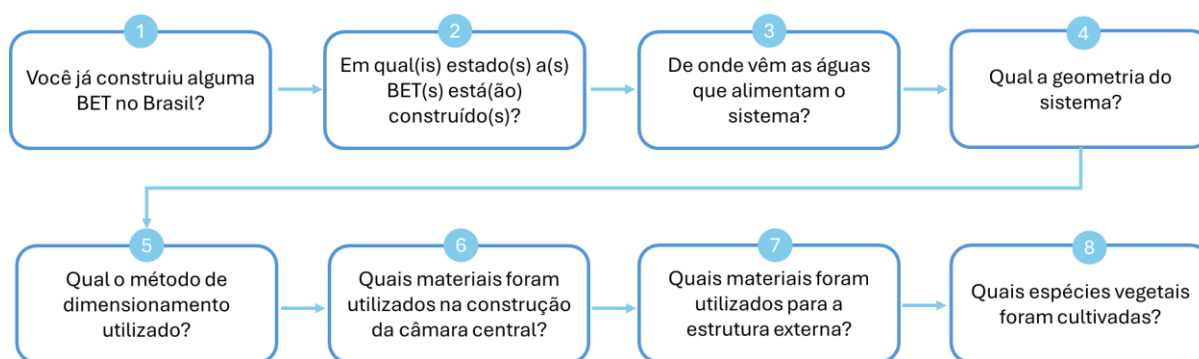


Figura 2: Perguntas realizadas aos participantes da pesquisa

O questionário foi elaborado e submetido através da plataforma *Google Forms* sem identificação dos participantes e das respostas por eles fornecidas. Por se tratar de uma pesquisa em que houve coleta de dados diretamente com seres humanos, o projeto foi submetido para apreciação no comitê de ética em pesquisa da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) e foi aprovado sob o protocolo CAAE nº 82125224.7.0000.8142.

Após a coleta das respostas, os dados foram tratados e analisados para definição dos padrões e tendências seguidos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao final do período de aplicação do questionário, foram contabilizadas um total de 152 respostas, das quais apenas 57 (37,5%) indicaram ter participado da construção de uma ou mais BETs em território brasileiro. Essas respostas compõem o universo amostral para a avaliação das demais informações abordadas no questionário. O pequeno percentual de respondentes com experiência prática na construção de BETs evidencia que ainda há uma lacuna na disseminação dessa tecnologia entre os profissionais e pesquisadores que atuam na área do saneamento para comunidades isoladas no Brasil.

A Figura 3 apresenta em quais estados brasileiros foram mencionados a construção de sistemas. É relevante destacar que os dados não indicam se houve maior ou menor participação em cada estado nem tampouco quantificam os sistemas construídos em cada estado, apenas apontam que, para as respostas obtidas, os participantes não indicaram ter atuado na construção de sistemas nos estados do Acre (AC), Roraima (RR), Rondônia (RO), Amapá (AP), Maranhão (MA), Tocantins (TO), Sergipe (SE) e Rio Grande do Norte (RN). No entanto, isso não significa que não existem BETs nesses estados, o mais provável é que dadas as limitações de alcance da pesquisa, os profissionais e pesquisadores que tenham atuado em projetos nesses estados não

tenham sido alcançados. Isso é reforçado, por exemplo, pela pesquisa realizada por Campos *et al.* (2020), em que foram contabilizadas 7 unidades construídas em Sergipe e 62 no Rio Grande do Norte. Além disso, esses autores afirmam que já é possível encontrar BETs em todas as unidades federativas do país.

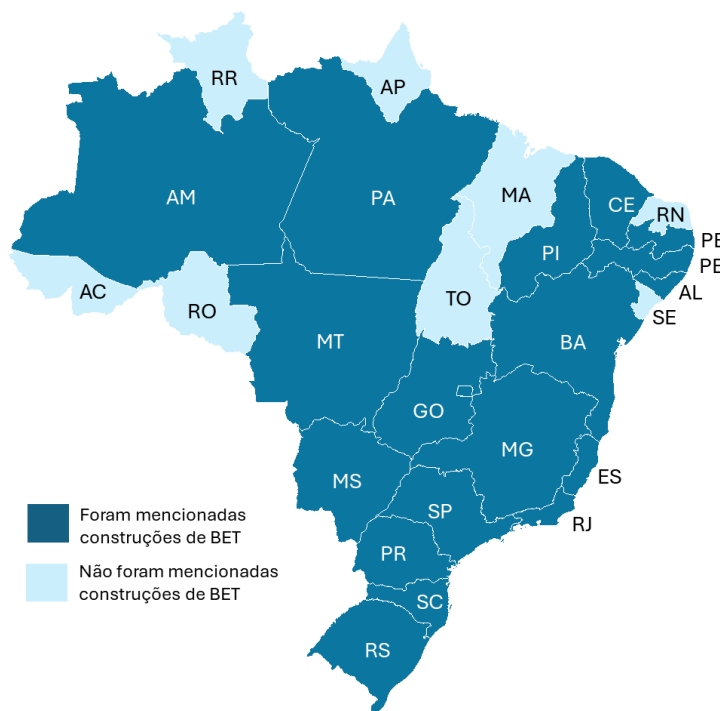


Figura 3: Estados brasileiros onde foram identificadas BETs.

Em se tratando das águas que adentram ao sistema, os participantes puderam assinalar uma ou mais opções entre: vaso sanitário (VS), pia do banheiro (PB), chuveiro (C), pia da cozinha (PC), máquina de lavar louça (MLL), máquina de lavar roupa (MLR), tanque (T), outras (especificando alternativas). Os resultados obtidos são apresentados na Figura 4.

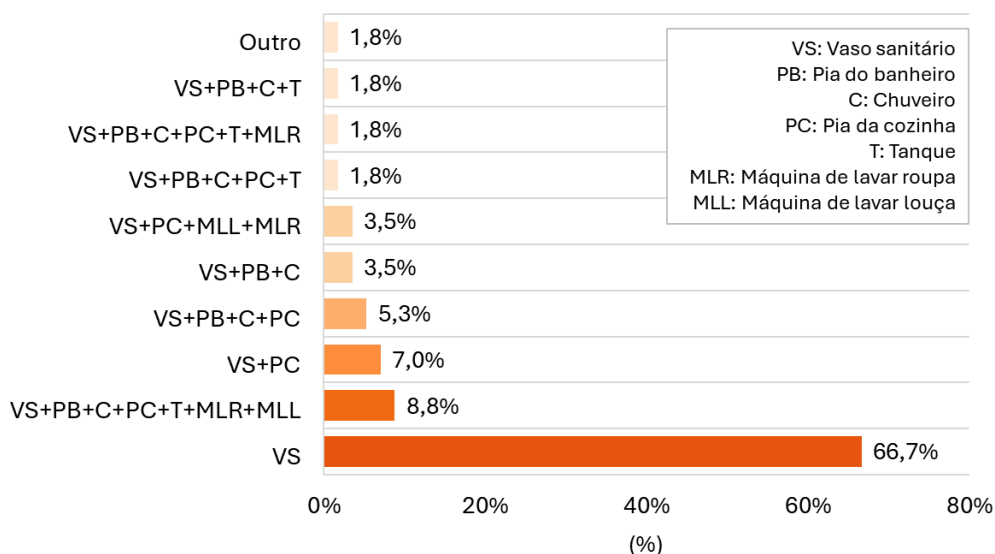


Figura 4: Tipos de contribuição que adentram a BET.

Analisando os resultados apresentados na Figura 4, depreende-se que todos os respondentes indicaram fazer a destinação da água do vaso sanitário no interior da BET, sendo que aproximadamente 67% utilizam o sistema exclusivamente para este fim. No entanto, é notável que a destinação de águas cinzas no interior da BET representou uma parcela considerável (33%) e que os casos em que houve destinação de todo o esgoto gerado

na residência correspondeu a aproximadamente 9% das respostas fornecidas. Essa prática, no entanto, levanta preocupações quanto ao desconhecimento do comportamento da BET em relação a presença excessiva de sabões e produtos de limpeza ao longo dos anos, no que diz respeito tanto a eficiência do tratamento quanto a saúde das plantas e frutos cultivados no topo do sistema e a qualidade do solo. Além disso, questiona-se que sistemas que recebem grandes volumes de contribuição necessitarão de maior área para que possam operar sem constantes extravasamentos e a construção de sistemas de maior porte pode ser inviável tanto do ponto de vista financeiro quanto em relação a disponibilidade de área no terreno.

Quanto ao formato, 94,7% dos participantes afirmaram utilizar a geometria retangular, enquanto para 3,5% e 1,8% das respostas as geometrias indicadas foram, respectivamente, circular e tronco piramidal. Os métodos de dimensionamento mencionados são apresentados na Figura 5. Dessa figura, depreende-se que aproximadamente 65% dos respondentes adotou uma área superficial variando de 1m²/pessoa a 2m²/pessoa, concordando com as indicações da norma e de referências da literatura (Figueiredo, 2019; FUNASA, 2018; Pamplona e Venturi, 2004; Pires, 2012). Apesar disso, 11,1% dos participantes indicaram a utilização de áreas superficiais inferiores a 1m²/usuário, mesma porcentagem que indicou o uso de áreas superiores a 2m²/usuário. Além disso, 13% dos participantes da pesquisa afirmaram utilizar formas alternativas, como o cálculo do volume de contribuição a partir da taxa de evapotranspiração do sistema ou o dimensionamento da câmara central como um tanque séptico. Destacam-se algumas pesquisas como Galbiati (2009), Paulo *et al.* (2019) e Coelho *et al.* (2018) que propõem equações de dimensionamento para BETs baseadas na taxa de evapotranspiração do sistema e na contribuição de esgoto, mas nenhuma dessas equações foi mencionada pelos participantes da pesquisa.

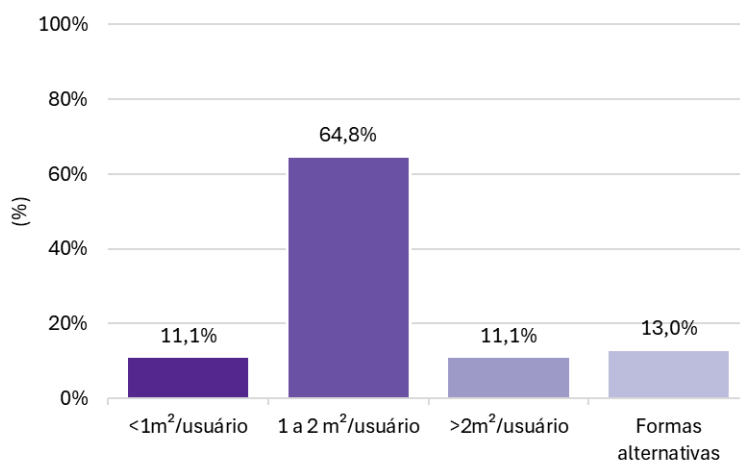


Figura 5: Métodos de dimensionamento da BET mencionados.

Entre os materiais empregados na conformação da área externa, o tijolo cerâmico destacou-se como o mais utilizado, sendo mencionado por 34,0% dos participantes. Em seguida, o bloco de concreto foi citado por 31,9% dos respondentes, configurando-se como a segunda opção mais frequente. Contudo, apesar da popularidade, ambas as soluções apresentam custos elevados, uma vez que, além da aquisição dos blocos, é necessário adquirir insumos como cimento e areia, bem como dispor de água para a preparação da argamassa, o que pode representar um desafio em comunidades isoladas. Adicionalmente, esses materiais demandam mão de obra especializada para o assentamento, enfrentam dificuldades de transporte e requerem um período significativo para a execução e acabamento. Nesse contexto, a lona impermeável surge como uma alternativa de baixo custo, fácil aplicação e rápida instalação, características que têm contribuído para sua crescente adoção em sistemas construídos. Esse material foi indicado por 23,4% dos participantes como a opção preferida para a conformação da estrutura externa da BET. Entre outras opções mencionadas pelos participantes, estão o uso de ferrocimento (8,5%) e caixa d'água de polietileno (2,1%).

No que tange à composição da câmara central, a Figura 6 apresenta os materiais mencionados pelos participantes da pesquisa. Observa-se que pneus usados se destacam como o material mais frequentemente citado (83,3%), o que pode ser atribuído à geometria favorável e boa resistência mecânica para conformação da câmara, além da facilidade de obtenção em borracharias, dado que representam um resíduo de difícil destinação ambientalmente adequada.

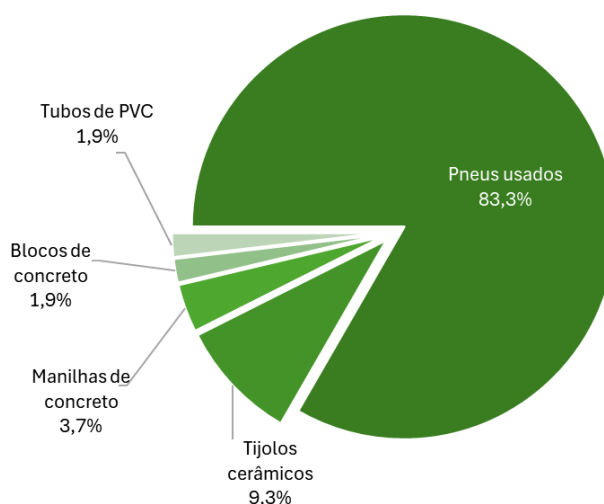


Figura 6: Materiais utilizados na conformação da câmara central.

Como alternativa, destaca-se os tijolos cerâmicos, mencionado por 9,3% dos respondentes. Entretanto, assim como na aplicação de blocos de concreto, a utilização desses materiais para a construção da câmara central demanda maior precisão e cuidado durante execução. Nesse contexto, têm sido exploradas outras opções, como tubos de PVC e manilhas de concreto, que, embora apresentem custos de aquisição mais elevados, oferecem a vantagem de instalação simplificada no local. Contudo, devido a pequena taxa de recorrência entre as respostas, o emprego desses materiais ainda é considerado incipiente.

No que diz respeito às espécies cultivadas, observou-se uma considerável diversidade entre as respostas dos participantes. A bananeira foi a planta mais frequentemente mencionada, citada por 94,7% dos respondentes. Tal resultado era esperado, considerando o fato de que essa planta é conhecida por sua elevada taxa de evapotranspiração. A taioba foi a segunda planta mais referida, mencionada por 45,3% dos participantes, seguida pelo mamoeiro, citado por 18,8%. Além disso, plantas ornamentais se mostraram comumente empregadas em BETs, como a helicônia (12,5%), o lírio-do-brejo (14,1%), o papiro (3,1%) e o copo-de-leite (3,1%). Outras espécies, incluindo feijão, abóbora, inhame, tomate-cereja, quiabo, erva-cidreira, acerola entre outras, foram mencionadas por 1,8% dos participantes, evidenciando a pluralidade de opções utilizadas nesses sistemas. Apesar disso, é necessário conduzir maiores estudos para investigar quais culturas entre as mencionadas de fato podem ser cultivadas e consumidas de forma segura para a saúde humana.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados apresentados, pode-se concluir que, apesar das limitações da pesquisa tenham impedido a identificação de respostas provenientes de algumas localidades, as BETs demonstraram-se bem disseminadas no Brasil, mas é importante destacar que há campo para o aprimoramento dessa tecnologia. Os dados também destacam a predominância do uso da água do vaso sanitário nas BETs com uma proporção significativa de sistemas destinados exclusivamente a esse tipo de resíduo. Entretanto, a destinação de águas cinzas e o tratamento da totalidade do esgoto doméstico gerado representam práticas relevantes, embora possam suscitar preocupações em relação à eficiência e à longevidade dos sistemas, especialmente devido ao impacto de sabões e produtos de limpeza.

Quanto ao formato e ao dimensionamento, a geometria retangular é amplamente adotada, e as áreas superficiais variando entre 1m²/pessoa e 2m²/pessoa correspondem às práticas mais comuns. Em relação aos materiais utilizados, os tijolos cerâmicos e os blocos de concreto se destacaram como principais escolhas para a estrutura externa dos sistemas, apesar dos custos elevados e das dificuldades logísticas associadas. Alternativamente, a lona impermeável surge como uma opção economicamente viável, de fácil instalação e crescente popularidade. Para a conformação das câmaras centrais, os pneus usados são amplamente empregados, devido à sua fácil disponibilidade, enquanto outras soluções, como tubos de PVC e manilhas de concreto, ainda apresentam uso limitado.

Por fim, a diversidade de espécies vegetais cultivadas no topo das BETs demonstra a versatilidade desses sistemas. A bananeira é a planta mais comumente empregada, seguida por outras espécies com alta taxa de evapotranspiração ou com propósitos ornamentais e alimentícios. Essa variedade evidencia o potencial das BETs não apenas como solução para o tratamento de esgoto, mas também como uma estratégia integrada para a possível produção de alimentos e a conservação ambiental.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. NBR 17076: Projeto de sistema de tratamento de esgoto de menor porte — Requisitos. Rio de Janeiro. 94 p. 2024.
- CAMPOS, P. E. R.; CAVALCANTE, M. C.; MEDEIROS, L. M. Fossa De Bananeira - Um legado agroecológico ao saneamento básico. *Revista Brasileira de Agroecologia*, v. 15, n. 3, p. 134-140, 2020. DOI: 10.33240/rba.v15i3.23190
- COELHO, C. F., REINHARDT, ARAÚJO, J. C. Fossa verde como componente de saneamento rural para a região semiárida do Brasil. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v.23, nº4. p. 801-810. 2018. DOI: 10.1590/S1413-41522018170077
- EMATER-MG, FBB. *Tecnologia Social: Fossa Ecológica - TEvap*. Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Minas Gerais e Fundação Banco do Brasil. 18 p. 2016.
- FIGUEIREDO, I. C. S. SANTOS, B. S. C., TONETTI, A. L. *Tratamento de esgoto em zona rural: fossa verde e círculo de bananeiras*. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018, 32 p.
- FIGUEIREDO, I. C. S. Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura de Urbanismo. 318 p. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2019.
- FIGUEIREDO, I. C. S., BARBOSA, A. C., MIYAZAKI, C. K., SCHNEIDER, J. COASACA, R. L., MAGALHÃES, T. M.M. TONETTI, A. L. Bacia de Evapotranspiração (BET): uma forma segura e ecológica de tratar o esgoto do vaso sanitário. *Revista DAE*, v. 67, n. 220, p. 115-127, 2019. DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.059>
- FUNASA. Ministério de Saúde. Fundação Nacional de Saúde. *CataloSan: Catálogo de soluções sustentáveis de saneamento - gestão de efluentes domésticos*. Brasília: Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). 50 p. Eds: Paulo, P.L.; Galbiati, A.F.; Magalhães, F.J.C. 2018.
- GALBIATI, A. F. Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração. Dissertação (Mestrado em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia. 52 p. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.
- PAMPLONA, S.; VENTURI, M. Esgoto à flor da terra - Sistema de evapotranspiração é solução simples, acessível e sustentável. *Permacultura Brasil: soluções ecológicas*, v. VI, n. 16, p. 18-19, 2004.
- PAULO, P. L, GALBIATI, A. F., MAGALHÃES FILHO, J. C. BERNARDES, F. S., CARVALHO, G. A., BONCZ, M. A. Evapotranspiration tank for the treatment, disposal and resource recovery of blackwater. *Resources, Conservation & Recycling*, v. 147, p. 61-66. 2019. DOI: doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.04.025
- PIRES, F. J. 2012. Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no Assentamento Rural Olga Benário-MG. Dissertação (mestrado). Universidade Federal de Viçosa- Viçosa, MG. 118p.
- TONETTI, A. L. *et al.* *Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções*. 1ed. Campinas: Biblioteca Unicamp, 2018, 153 p.
- UNICEF; WHO. *State of the World's Sanitation: An urgent call to transform sanitation for better health, environments, economies and societies*. New York: United Nations Children's Fund (UNICEF) e World Health Organization (WHO), 2020, 93 p.