

TANQUE DE EVAPOTRANSPIRAÇÃO EM ESCALA REAL PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DE INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS E SANITÁRIAS DE UM BANHEIRO DE USO COMUNITÁRIO RURAL

Gabriel Rocha⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Mestre em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Estadual de Ponta Grossa/Universidade Estadual do Centro-Oeste.

Kaio Gustavo Gomes⁽²⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Pedro Henrique Weirich Neto⁽³⁾

Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Pelotas. Doutorado em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual de Campinas. Docente da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Maria Magdalena Ribas Döll⁽⁴⁾

Engenheira Agrônoma. Mestre em Energia na Agricultura pela UNESP. Doutora em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Endereço⁽¹⁾: Av. General Carlos Cavalcanti - Uvaranas, Ponta Grossa - PR, 84030-000 - e-mail: eng.gabrielrocha@yahoo.com.br

Endereço⁽²⁾: Rua Teixeira Mendes, 1441 - Uvaranas - Ponta Grossa - PR - CEP: 84031-000 - Brasil - Tel: (42) 99858-3152 - e-mail: kaio_gu@hotmail.com

Endereço⁽³⁾: Av. General Carlos Cavalcanti - Uvaranas, Ponta Grossa - PR, 84030-000 - e-mail: lama1@uepg.br

Endereço⁽⁴⁾: Av. General Carlos Cavalcanti - Uvaranas, Ponta Grossa - PR, 84030-000 - e-mail: mmrdoll@uepg.br

RESUMO

No meio rural as águas residuárias domésticas, especialmente águas negras com excreções humanas, podem gerar impactos ambientais e problemas de saúde aos produtores e suas famílias que vivem no campo. Em geral estas águas são encaminhadas para sistemas de tratamento rudimentares, sem impermeabilização de solo. O presente trabalho teve como objetivo avaliar o Tanque de Evapotranspiração (TEvap) para o tratamento uniresidencial de águas negras. A tecnologia foi implantada em escala real com 10 m² em planta e águas negras provenientes de dois banheiros de salão comunitário de uma associação rural no município de Ponta Grossa (PR). O sistema foi alimentado com cargas eventuais, não controladas devido ao uso esporádico dos sanitários em eventos que ocorreram no salão. Apesar da carga elevada nestes momentos, o TEvap se mostrou capaz de absorvê-las. Com 172 dias de funcionamento, foram observadas somente na camada de base do TEvap (câmaras anaeróbicas) reduções de 52% na demanda química de oxigênio e 24% de fósforo total. Algumas variáveis apresentaram valores superiores à entrada como nitrogênio Kjeldahl que aumentou 23%, sólidos totais 11% e turbidez 33%. O teor de oxigênio dissolvido na câmara anaeróbia atingiu 0,79 mg/L. É importante destacar que a parte da camada anaeróbia, a água residuária ainda foi tratada nas camadas superiores compostas por brita, manta geotêxtil, camada de areia e solo (zona de raízes). Porém, a eficiência de tratamento nestas camadas não foi apresentada neste trabalho. A tecnologia não foi eficiente na remoção de *Escherichia coli*. Apesar disso, o TEvap se constituiu em uma alternativa promissora para o tratamento de águas negras uniresidenciais em áreas longínquas das redes coletoras e de estações de tratamento de esgotos.

PALAVRAS-CHAVE: TEvap; Saneamento Ecológico; saneamento rural; águas negras; tratamento de esgoto.

INTRODUÇÃO

Apenas cerca de 55 % da população no Brasil tem acesso a coleta de esgoto (INSTITUTO TRATA BRASIL, 2022). Nas áreas rurais o cenário pode ser ainda pior, pois em muitos casos o esgoto é disposto a céu aberto ou diretamente em cursos d'água, sem nenhum tratamento.

O tratamento de esgoto em grande escala nas cidades atualmente é feito por tecnologias como as lagoas de estabilização, reatores anaeróbios, lodos ativados, entre outras tecnologias convencionais (VON SPERLING, 1996).

Em algumas situações, em que há coleta e o direcionamento do esgoto para uma ETE (Estação de Tratamento de Esgoto) se torna inviável pela distância das fontes geradoras, o tratamento uniresidencial se torna uma medida imprescindível. Neste caso, a tecnologia atualmente mais usada nessas situações longínquas da rede coletora de esgoto e da ETE é a fossa séptica, que consiste em um tanque onde o tempo de detenção hidráulica do esgoto é ajustado para que as reações de degradação da matéria orgânica possam acontecer (CHERNICHARO, 2016).

O Tanque de Evapotranspiração (TEvap) é uma alternativa em substituição ao uso da fossa séptica, em que essa tecnologia é composta por uma câmara anaeróbia, camadas superiores de materiais granulares e por uma zona de raízes em que devem ser plantadas culturas como bananeiras que têm significativa área foliar para maior evapotranspiração (PAMPLONA; VENTURI, 2004).

O TEvap vem sendo usado em diversas regiões no Brasil e estudado por alguns autores (GALBIATI, 2009; RODRIGUES et al., 2014; PIRES, 2012; FIGUEIREDO et al., 2019; PAULO et al., 2019; ROCHA, 2020; PONTES, 2023).

A eficiência do sistema em remover matéria orgânica, expressa como demanda química de oxigênio (DQO), é variável. Por exemplo, Galbiatti (2009) relatou uma remoção de 40%, Paulo et al. (2019) obtiveram uma remoção de 77%. Enquanto Figueiredo et al. (2019) e Pires (2012) observaram eficiências de 91 % e 95 %, respectivamente.

Assim, o TEvap tem potencial para ser uma ótima opção de tratamento uniresidencial de esgoto doméstico em substituição às fossas sépticas.

Este trabalho teve como objetivo principal avaliar a eficiência de remoção de matéria orgânica, fósforo, nitrogênio e outras variáveis importantes no monitoramento de um sistema de tratamento de águas negras, acompanhando desde a instalação do TEvap até o período de aproximadamente 171 dias de operação.

MATERIAIS E MÉTODOS

O TEvap foi implantado em escala real na sede da associação de moradores do acampamento Emiliano Zapata na área rural de Ponta Grossa, Paraná. O acampamento era constituído por aproximadamente 60 famílias cooperadas de forma solidária e com autonomia de governança (MASSICOTTE, 2014).

O TEvap foi dimensionado para o tratamento do esgoto gerado por dois banheiros do salão comunitário da sede do acampamento (sendo estes constituídos de vasos sanitários e pias do lavatório de mãos).

O salão é utilizado nos encontros, reuniões casuais, em festas comunitárias e, ocasionalmente, de forma diária pelos moradores do acampamento.

Devido à falta de dados precisos quanto a utilização diária das instalações hidráulicas e sanitárias do local, foram feitas algumas considerações para o dimensionamento do sistema, como: o uso de 2 pessoas/d nos banheiros (considerando uso da descarga de vaso sanitário e da pia lavatório de mãos), a realização de 2 reuniões/mês com 10 pessoas/reunião, estimando-se assim o uso diário de 0,66 pessoas. Foi considerado ainda a realização de três festas por ano com a lotação máxima do salão de 400 pessoas, estimando-se um uso diário de mais 3,28 pessoas. Assim, foi estimado um uso diário de 5,94 pessoas, sendo adotado para o dimensionamento 6 pessoas por dia.

Por cálculos, o volume diário de esgoto gerado nas instalações seria de uma contribuição de 32 L/hab.d (REBOUÇAS et al., 2011). Para este contingente, o dimensionamento proposto por Galbiatti (2009) e adaptado para as condições de uso esporádico (ROCHA, 2020) resultou em um tanque com 2 metros de largura, 5 metros de comprimento e 1,2 metros de profundidade.

Este tanque foi preenchido com diversas camadas, sendo do fundo para cima: câmara anaeróbia com uma altura de 0,7 m, camada de brita com 0,1 m, uma manta têxtil e em seguida uma camada de areia com 0,1 m e a camada de solo com 0,3 m.

A câmara anaeróbia era composta por 3 fileiras de pneus inservíveis, dispostos em sequência, concêntricos e alinhados longitudinalmente no fundo do tanque de modo a formar túnel com a entrada do esgoto.



O volume de água introduzido no tanque nas diferentes camadas foi medido por um hidrômetro. O volume útil total do sistema medido foi de 7,35 m³ até a camada de areia. O tempo de detenção hidráulica (TDH) foi calculado em 38,28 dias e o sistema foi monitorado durante 4,5 TDH totalizando 171 dias de operação.

Durante a execução do TEvap foram previstos acessos às camadas que compuseram o sistema por tubos verticais para coletas de amostras. Oxigênio dissolvido (OD) e pH eram medidos diretamente *in loco* por uma sonda de multi-parâmetros.

Demais amostras eram coletadas no local com auxílio de uma bomba peristáltica, armazenadas em frasco de polipropileno autoclavados de 250 mL e em caixa de isopor para serem analisadas em laboratório quanto a DQO, fósforo total, fósforo inorgânico, nitrogênio de Kjeldahl total (NKT), sólidos totais, turbidez, coliformes e *E. coli*. (APHA, 2012).

As variáveis em questão foram analisadas em cinco datas, contado a partir do dia em que o sistema entrou em operação, foram coletadas amostras com 28 dias, 48 dias, 69 dias, 97 dias e 171 dias de operação do sistema. Em cada coleta também foi amostrado o material de entrada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Localmente, o TEvap era conhecido como Fossa de Bananeiras ou Bacia de Evapotranspiração (BET) e em visitas ao acampamento Zapata, foi possível identificar que havia 20 TEvaps instalados e 40 fossas sépticas negras.

A maioria das residências não separam as águas negras e cinzas pois ambas tem como destino, na maior parte dos casos, as fossas. Dependendo de como a fossa for construída e mantida, é possível observar consequências socioambientais, como contaminação do solo e do lençol freático que causam danos à saúde da família de pequenos agricultores. Contudo, os TEvaps instalados e em pleno funcionamento indicam aceitação desta tecnologia pelos agricultores locais.

Os sistemas têm sido implantados com auxílio do Laboratório de Mecanização Agrícola/UEPG ou por conta dos próprios moradores que viram nesta tecnologia, uma solução sustentável para seus esgotos domésticos.

Entretanto, o sistema carece de norma, projeto, dimensionamento adequado e de técnicas mais apuradas para sua construção. Situação que pode acarretar falhas construtivas, levando à infiltração, sobrecarga hidráulica, extravasamentos e/ou mau funcionamento.

O sistema não apresentou extravasamento durante o período analisado. Também não foi possível analisar a presença de vazamentos ou trincas que podem surgir nas paredes e no fundo do sistema

O TEvap deste trabalho custou R\$ 1.019,40, desconsiderando-se a mão-de-obra e os materiais reaproveitados sem custo, pois foi instalado em mutirão e o resultado pode ser observado na Figura 1, detalhe (a). Caso fosse considerado o custo da mão-de-obra, estima-se que seriam necessárias 40 horas de serviço de um pedreiro oficial e um auxiliar servente de pedreiro, cerca de R\$ 1.089,20 em 2019. A fotografia da Figura 1 detalhe (b) mostra a evolução das bananeiras plantadas no TEvap deste trabalho após os 171 dias de operação. Como pode ser observado o sistema se apresenta integrado ao meio ambiente sem geração de odores, moscas, vetores de doenças e sem emitir esgoto para o meio ambiente devido ao processo de evapotranspiração local.



(a)



(b)

Figura 1 – Fotografia da instalação do TEvap, em que: (a) finalizado em 2019 com as camadas do fundo para a superfície: câmaras anaeróbias camada de brita, manta geotêxtil e camada de areia e, (b) o mesmo TEvap após 4 anos da instalação em 2023.

Durante a pesquisa, o TEvap recebeu a contribuição de esgoto de uma festa promovida no salão comunitário podendo ter lotação máxima de público correspondente às coletas de 28 e 48 dias. Até o 48º dia o sistema estava coberto por uma lona dupla impermeável, com o objetivo de restringir a influência de precipitação dentro do sistema. Entre 48º e 69º dia, o TEvap recebeu a contribuição de esgoto da segunda festa.

Neste período de 103 dias (do 69º até 171º dia) o TEvap não estava coberto com a lona, sendo observado 445,6 mm de precipitação pluviométrica distribuída ao longo desse tempo (IAT, 2021). Em consonância com a área superficial (10 m²) do tanque, foi infiltrado ao sistema o volume de 4456 L de água pluvial, porém o sistema não apresentou extravasamento durante o período de acompanhamento.

Quanto à eficiência desde a instalação do TEvap até o período de aproximadamente 171 dias de operação pode-se observar os resultados que estão apresentados na Tabela 1, sendo os valores médios das datas coletadas de entrada e os valores das variáveis analisadas para cada coleta.

Tabela 1 – Valores das variáveis analisadas na câmara anaeróbia durante o período de monitoramento do TEvap.

Variável	Entrada	28 dias	48 dias	69 dias	97 dias	171 dias
Temperatura (°C)	18,6	14,4	18,7	19,8	20,1	22,5
pH	8,9	9,3	7,1	9,9	7,72	8,36
OD (mgO ₂ L ⁻¹)	2,12	0,4	1,9	0,27	1,47	0,79
DQO (mgL ⁻¹)	907	414	474	782	1013	432
P-PO ₄ ⁻³ (mgL ⁻¹)	1,85	0,2	0,5	5,82	2,9	1,4
NTK (mgL ⁻¹)	16,8	n.a.	n.a.	64,3	63,8	20,6
ST (mgL ⁻¹)	180	103	203	471,4	391,4	200
Turbidez (NTU)	19,4	n.a.	n.a.	155,6	82	25,8
<i>E.coli</i> (UFC100 ⁻¹ mL)	11 x10 ⁵	7,7 x10 ⁵	6,3 x10 ⁵	8x10 ⁵	8 x10 ⁵	3 x10 ⁵

n.a. = Não analisado

A temperatura do material no interior da câmara variou conforme a temperatura e clima local, sendo que no início de operação foram encontrados valores consideravelmente mais baixos, que afetam diretamente o desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios, visto que a atividade e desenvolvimento das bactérias pode ser reduzido consideravelmente em temperaturas abaixo de 15 °C (DOSTA ET AL; 2008).

O pH variou de 6,4 a 9,3, faixa característica de atividade anaeróbia. Algumas bactérias podem se desenvolver em faixas amplas (entre 4,0 e 9,5), mas apresentam um melhor desenvolvimento em pH entre 6,5 e 7,5. (METCALF & EDDY, 1991).

O oxigênio dissolvido, no interior da câmara anaeróbia, apresentou drástica redução no início de operação ($0,4 \text{ mg L}^{-1}$), proporcionando assim um meio favorável para o desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios estritos. Na sequência os valores de oxigênio dissolvido apresentaram um leve aumento, tendo como valor máximo $1,9 \text{ mg L}^{-1}$.

Já o valor de DQO apresentou uma variação maior, apresentando no começo uma tímida redução de matéria orgânica, contudo os valores da 4ª e 5ª coleta apresentaram valores mais altos, sendo a 5ª superior ao valor de entrada, o que pode ser consequência de uma carga mais concentrada nesse período ou ainda acúmulo de matéria orgânica no interior do sistema, por fim na última coleta o sistema já apresentava tendência de diminuição da matéria orgânica.

A concentração de fósforo (PO_4^{3-}) e nitrogênio kjeldahl (NTK), correspondente ao nitrogênio orgânico e amoniacal, apresentaram comportamentos similares, no início a concentração de fósforo foi mais baixa que a do afluente e a partir da terceira coleta, aos 69 dias de operação os valores foram superiores.

O mesmo comportamento foi observado com o nitrogênio, onde os valores nas últimas coletas foram consideravelmente mais altos que o da entrada, nesse contexto o fenômeno pode indicar exatamente a acumulação desses compostos no interior do sistema e indicam que a matéria orgânica está nos primeiros estágios de degradação (VON SPERLING, 1996).

A concentração de sólidos totais das primeiras coletas teve o efeito de diluição, uma vez que a câmara estava cheia de água, depois a concentração aumentou, mas na última coleta apresentou tendência a diminuir. A Turbidez aumentou nos dois primeiros TDH até os 69 dias de operação, mas próximo aos cem dias apresentou tendência de queda.

Os valores das contagens de colônias de *E. coli* encontrados nas coletas foram similares ao do afluente, o que indica que não ocorreu considerável eliminação de *E. coli* pela câmara anaeróbia do sistema. E, devido a este fato destaca-se a importância de se manter distâncias mínimas de pontos de interesse, como residências, para tal pode ser usado as mesmas distâncias recomendadas para os tanques sépticos, pela NBR 7229.

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados apresentados, pode-se concluir que mesmo recebendo cargas elevadas pontuais de afluente em um período muito reduzido, o sistema demonstrou-se capaz de acomodar o volume recebido. Em contrapartida, foi observada grande variação de concentrações, para todas as variáveis analisadas, devido à intermitência de alimentação do TEvap.

Apesar disso, aos 172 dias de operação, a eficiência de remoção de DQO foi de 52%. O TEvap não eliminou *E.coli*, assim como a maioria dos sistemas de tratamento por processos biológicos.

Com os valores analisados, destaca-se a importância de estudar de forma mais detalhada o comportamento da câmara anaeróbia, propondo alterações para ter mais controle de algumas variáveis que influenciam na capacidade de tratamento do sistema, como a ocorrência da degradação anaeróbia.

A geração do biogás também deve ser investigada em trabalhos futuros, pois além da possibilidade de coleta e uso desse biogás há também a possibilidade desse gás subir pelo sistema, formando canais de passagem preferencial e ainda potencialmente ocasionar uma descaracterização das camadas granulares, misturando as mesmas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CHERNICHARO, C. Reatores Anaeróbios. 2ª edição. Belo Horizonte: UFMG, 2016.
2. DOSTA, J.; FERNANDEZ, I.; VAZQUEZ-PADIN, J. R.; MOSQUERA-CORRAL, A.; CAMPOS, J. L.; MATA-ALVAREZ, J; MENDEZ, R. Short-and long-term effects of temperature on the Anammox process. Journal of Hazardous Materials, v. 154, n. 1, p.688-693, 2008.
3. FIGUEIREDO, Isabel Campos Salles; BARBOSA, Ariane Corrêa; MIYAZAKI, Caroline Kimie; SCHNEIDER, Jerusa; COASACA, Raúl Lima; MAGALHÃES, Taína Martins; TONETTI, Adriano

- Luiz. Bacia de Evapotranspiração (BET): uma forma segura e ecológica de tratar o esgoto de vaso sanitário. Revista Dae, [S.L.], v. 67, n. 220, p. 115-127, 2019. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2019.059>.
4. INSTITUTO TRATA BRASIL, R. DO S. Ranking do Saneamento - Instituto Trata Brasil 2020. GO Associados, v. 2019, n. Snis 2017, p. 111, 2022.
 5. GALBIATI, A. F. Tratamento domiciliar de águas negras através de tanque de evapotranspiração. 2009. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Tecnologias Ambientais, Universidade Federal do Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2009.
 6. MASSICOTTE, M.-J. Solidarity Economy and Agricultural Cooperatives: The Experience of the Brazilian Landless Rural Workers Movement. Journal of Agriculture, Food Systems, and Community Development, v. 4, n. 3, p.155– 176, 2014.
 7. METCALF & EDDY. Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse. 3ed. New York: McGraw-Hill, p.1334, 1991.
 8. PAMPLONA, S; VENTURI, M. Esgoto à flor da terra. Permacultura Brasil: Soluções ecológicas, Brasília, v. 16, n. 5, p. 18-19, set. 2004.
 9. PAULO, P. L. et al. Evapotranspiration tank for the treatment, disposal and resource recovery of blackwater. Resources, Conservation and Recycling, v. 147, n. April, p.61–66, 2019.
 10. PIRES, F.J. Construção participativa de sistemas de tratamento de esgoto doméstico no Assentamento Rural Olga Benário-MG. Dissertação (Mestrado em Geotécnica e Saneamento ambiental), Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, MG, 118p, 2012.
 11. PONTES, Raquel Alves Ribeiro. Sustentabilidade de alternativas de tratamento descentralizado de esgoto em bases militares isoladas: uma abordagem por índice composto. 2023. 120 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Tecnologias Ambientais, Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Cuiba Ms, 2023.
 12. REBOUÇAS, T. C. et al. Características físico-químicas e microbiológicas de diferentes tipos de águas residuárias de origem residencial. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Belo Horizonte, 24,2007. Anais. Minas Gerais: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2007
 13. RODRIGUES, D. P. Gestão De Águas E Efluentes Do Centro Espírita Beneficente União. CUIABÁ, MATO GROSSO, p.1–5, 2014.
 14. VON SPERLING M. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos. 2ª ed. Série: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, 1996.