

Fossa Séptica Biodigestora: avaliação crítica da eficiência da tecnologia, da necessidade da adição de esterco e dos potenciais riscos à saúde pública

Biodigester Septic Tank: critical assessment of technology efficiency, the need to use manure and potential risks to public health

- **Data de entrada:**
10/05/2019
- **Data de aprovação:**
20/07/2019

Isabel Campos Salles Figueiredo | Raúl Lima Coasaca | Natália Cangussu Duarte |
Caroline Kimie Miyazaki | Lays Paulino Leonel | Jerusa Schneider | Adriano Luiz Tonetti*

DOI: <https://doi.org/10.4322/dae.2019.058>

Resumo

A Fossa Séptica Biodigestora (FSB) vem sendo divulgada como uma das melhores soluções para o problema do saneamento rural no Brasil. Diversos estudos indicam que o uso de esterco no sistema aumenta seu desempenho e minimiza a produção de lodo, porém muitos desses estudos estão baseados em dados pontuais. Na presente pesquisa foi analisado seu uso em uma área rural do município de Campinas (SP). O sistema foi avaliado sob dois regimes distintos: sem adição de esterco e com adição de esterco. Foi constatado que a adição de esterco não promove melhoria no desempenho no tocante à remoção de DBO, DQO, nutrientes e organismos indicadores de contaminação fecal. Além disso, o efluente final apresentou uma elevada salinidade e alta concentração de coliformes totais e *E. coli*, sugerindo que seu uso como biofertilizante pode não ser seguro para os moradores que adotam a tecnologia para o tratamento de esgoto. **Palavras-chave:** Fossa séptica biodigestor. Embrapa. Saneamento rural. Tratamento de esgoto. Comunidade isolada.

Abstract

The Biodigester Septic Tank (BST) has been disseminated as one of the best technical solutions for rural sanitation in Brazil. Numerous studies indicate that the use of manure in the system promotes a significant increase in the system's performance and prevents the production of septic tank sludge, but many of these studies are based in small datasets. This research assessed the use of the BST in a rural area of Campinas (SP/Brazil). The system was evaluated for eight months, under two operational settings: without manure addition and with manure addition. The characterization of

Isabel Campos Salles Figueiredo – Bióloga. Mestre em Ecologia. Doutora na área de Saneamento. Trabalha com permacultura, educação ambiental e saneamento ecológico.

Raúl Lima Coasaca – Engenheiro químico. Mestre em Saneamento e Ambiente pela FEC/Unicamp. Especialista em bioprocessos. Possui experiência em análise de dados.

Natália Cangussu Duarte – Engenheira civil e Mestre em Engenharia Civil pela FEC/Unicamp.

Caroline Kimie Miyazaki – Engenheira Ambiental pela EESC-USP. Mestranda em Engenharia Civil na FEC/Unicamp. Prestou consultorias ambientais no Brasil e EUA.

Taina Martins Magalhães – Engenheira Química pela Unicamp. Mestre em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp.

Lays Paulino Leonel – Mestre e doutoranda em Saneamento e Ambiente pela Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Bióloga formada pela Unesp.

Jerusa Schneider – Mestre e Doutora em Ciência do Solo. Atua na área de Microbiologia do Solo e Ambiental, Biorremediação e Sustentabilidade Agrícola e Ambiental.

Adriano Luiz Tonetti – Professor da FEC/Unicamp. Atua na área de saneamento descentralizado e remoção e uso de nutriente de águas residuais.

***Endereço para correspondência:** Rua Saturnino de Brito, 224. Cidade Universitária Zeferino Vaz, Campinas - SP. CEP: 13083-889. Caixa Postal: 6143. Telefone: (19) 3521-2369. E-mail: tonetti@unicamp.br.

the final effluent indicated that the addition of manure did not contribute to the removal of BOD, nutrients or indicators of faecal contamination. Furthermore, the final effluent presented high salinity and high concentration of total coliforms and E. coli, which suggests that its use as a biofertilizer may not be safe for residents who adopt this technology.

Keywords: Biodigester septic tank. Rural sanitation. Wastewater treatment. Remote community.

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Boas práticas de saneamento são fundamentais não apenas para evitar doenças, mas para promover a saúde, proteger o meio ambiente e aumentar a qualidade de vida da população. No entanto, a utilização do saneamento como instrumento de promoção de qualidade de vida pressupõe a superação de entraves tecnológicos, políticos e gerenciais que dificultam, por exemplo, a cobertura das populações que habitam zonas rurais e municípios de pequeno porte (FUNASA, 2007). Essas regiões possuem algumas características que tornam complexo o atendimento pelo Estado, tais como: dispersão geográfica, isolamento, distância das sedes municipais, acessos precários ou difíceis, limitações financeiras dos municípios, ausência de participação social e insuficiência de políticas públicas locais (TONETTI et al., 2018a). Apesar de essas características não serem justificativa para a ausência de iniciativas públicas e privadas na área, elas acabam se traduzindo em baixos índices de cobertura de esgotamento sanitário.

Dados coletados e organizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2014) indicam que aproximadamente 12,6% dos domicílios rurais pesquisados não possuem nenhum tipo de sistema de tratamento de esgoto e que 57,7% adotam soluções consideradas inadequadas para o esgotamento sanitário, tais como o lançamento em valas, corpos d'água ou em fossas rudimentares.

Como resposta aos desafios relacionados à busca por sistemas de saneamento mais adequados, numerosas experiências têm sido desenvolvidas em diferentes partes do mundo e do Brasil, trazendo

melhorias nas condições de vida das comunidades, sem a destruição dos seus valores tradicionais e, muitas vezes, possibilitando a geração de trabalho e renda (SERAFIM e DIAS, 2013).

Uma das principais experiências recentes envolvendo tecnologias sociais na área de saneamento no Brasil é a Fossa Séptica Biodigestora (FSB) desenvolvida pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, um dos sistemas alternativos de tratamento de efluentes mais difundidos atualmente no país.

Além da própria Embrapa, outras instituições, como o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (Incra), a Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI) e a Fundação Banco do Brasil (FBB) têm disseminado a tecnologia (SERAFIM e DIAS, 2013), bem como prefeituras municipais, organizações não governamentais (ONGs) e empresas públicas e privadas. Estima-se que cerca de 11.000 unidades já tenham sido instaladas em mais de 250 municípios brasileiros, predominantemente na região Sudeste (SILVA, 2016; SILVA, MARMO e LEONEL, 2017, SILVA, 2018).

A recente incorporação da tecnologia às políticas públicas de habitação por meio do Programa Nacional de Habitação Rural (PNHR) (BRASIL, 2017) pretende disseminar a FSB em mais de 35.000 domicílios rurais (EMBRAPA, 2017). O sistema também é mencionado em publicações que compilam tecnologias adequadas para áreas rurais ou isoladas (FUNASA, 2015; 2018).

A FSB foi inspirada nos biodigestores asiáticos (FBB, 2010), sendo destinada ao tratamento das águas de vaso sanitário (fezes e urina) de uma

residência rural com até cinco pessoas (NOVAES et al., 2002; Galindo et al., 2010). O objetivo da tecnologia é substituir as fossas rudimentares por uma tecnologia de baixo custo, capaz de produzir um efluente final que pode ser utilizado no solo como biofertilizante ou em leiras de compostagem (NOVAES et al., 2002; GALINDO et al., 2010; SILVA, 2014).

O sistema é composto por três caixas d'água de 1.000 L conectadas por tubos e conexões de PVC de 100 mm (NOVAES et al., 2002) (Figura 1). As

duas primeiras caixas podem ser consideradas caixas de fermentação, sendo responsáveis pela digestão anaeróbia do efluente, enquanto a terceira serve para o armazenamento do efluente final. O tempo de detenção hidráulica do sistema varia entre 25 e 35 dias (NOVAES et al., 2002; GALINDO et al., 2010). Durante esse período há a redução da concentração de sólidos, eliminação de organismos patogênicos e estabilização de substâncias instáveis presentes no esgoto (FAUSTINO, 2007). O efluente final tem um aspecto castanho-amarelado e odor leve e característico (SILVA, 2014).

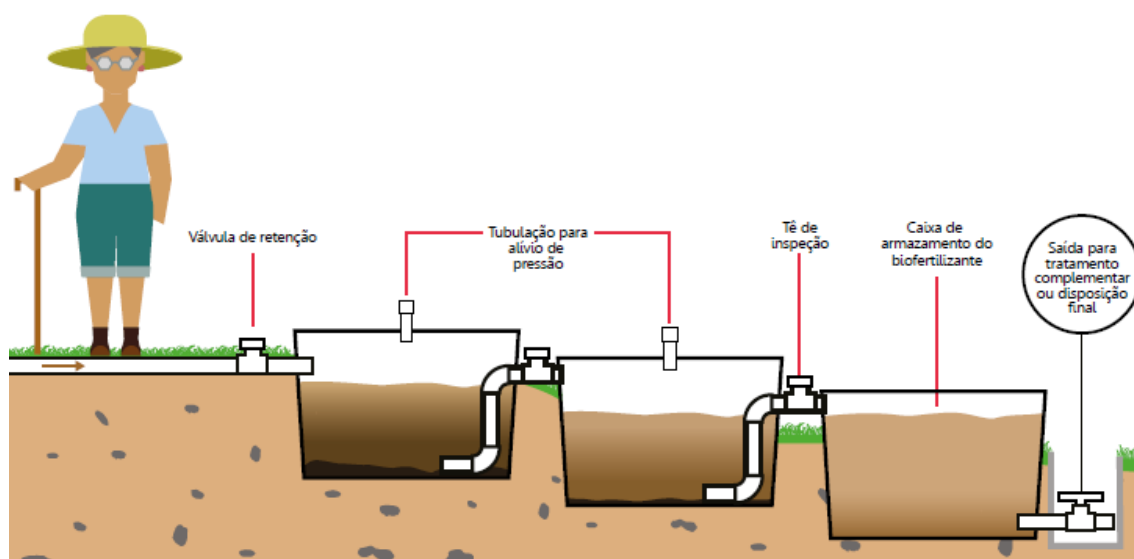


Figura 1 - Esquema da Fossa Séptica Biodigestora (FSB). Fonte: Tonetti et al. (2018).

Galindo et al (2010) sugerem que a FSB não acumula lodo, não sendo necessária a limpeza periódica demandada pelos tanques sépticos. A manutenção exigida se resume à adição mensal de uma mistura de água e esterco bovino fresco (1:1), com o objetivo de aumentar a atividade microbiana e, conseqüentemente, a eficiência da biodigestão, bem como prevenir a geração de odores desagradáveis (NOVAES et al., 2002; GALINDO et al., 2010). No entanto, pesquisa desenvolvida por Oliveira (2018) demonstrou a presença de lodo na parte inferior dos reatores, onde ficaram concentrados matéria carbonácea, fósforo e patógenos.

Apesar da enorme difusão dessa tecnologia, existem poucas pesquisas sobre o sistema e, quando realizadas, a maioria é de curta duração e conta com a análise de poucas amostras de efluente, como mostram as informações compiladas na Tabela 1. Oliveira (2018) identificou que apenas 16% das referências disponíveis trazem dados primários sobre o funcionamento da FSB. Portanto, é necessária uma maior quantidade de estudos sobre a real eficiência do sistema e uma maior discussão sobre a qualidade final do efluente produzido. Tais estudos devem ser realizados de forma regular e por períodos mais representativos,

tendo um rigor científico nos métodos de coleta, análise e tratamento dos dados.

Um aspecto que não sofreu uma avaliação robusta no meio científico diz respeito à premissa de que a adição de esterco fresco ao sistema é fundamental para o seu bom funcionamento. Na literatura essa questão foi abordada em apenas dois trabalhos (BARBONI e ROCHETTO, 2014; OLIVEIRA, 2018). Barboni e Rochetto (2014) se limitaram a adicionar a mistura inoculante uma única vez e não mensalmente, levando à obtenção de resultados bastante inconclusivos. Já Oliveira (2018) analisou o resultado da adição do inóculo por um mês por meio de seis amostras sem tratamento estatístico e concluiu que o esterco contribuiu para o decaimento endógeno no lodo acumulado no fundo dos reatores ao mesmo tempo em que promovia o aumento da concentração de *E. coli* no efluente final.

De forma prática, a adição mensal de esterco bovino pode ser um limitador dessa tecnologia, visto

que o proprietário rural teria que realizá-la rotineiramente, o que, devido à sobrecarga de trabalho dos agricultores, poderia ser um empecilho à correta manutenção dos sistemas. Além disso, muitas localidades rurais brasileiras não possuem criação de gado, o que dificultaria a implantação da FSB em muitos contextos.

Outro aspecto de fundamental importância diz respeito ao uso do efluente final como biofertilizante em práticas agrícolas. A aplicação dessa água residual feita de forma inadequada poderia expor os usuários a doenças de veiculação hídrica.

Deste modo, este trabalho busca contribuir com o desenvolvimento do sistema Fossa Séptica Biodigestora, por meio da avaliação da necessidade de adição do esterco bovino na operação da FSB, bem como da caracterização do efluente final produzido e avaliação da viabilidade de sua aplicação na agricultura como biofertilizante, além de explorar os aspectos de saúde pública que envolvem a operação do sistema de tratamento.

Tabela 1 - Informações sobre os principais estudos sobre Fossas Sépticas Biodigestoras.

Fonte	Tipo de estudo	Local da pesquisa e número de sistemas avaliados	Tipo e número de amostras	Parâmetros avaliados no efluente
Novaes et al., 2002	Comunicado técnico da Embrapa	Jaboticabal (SP). 1 sistema (3 caixas de 1.000 L)	Análise do efluente da 3ª caixa. Não foi informado o número de amostras	Coliformes totais e fecais
Faustino, 2007	Dissertação de Mestrado	Itirapina e São Carlos (SP). Sistema 1 e Sistema 2 (3 caixas de 1.000 L); Sistema 3 (4 caixas de 5.000 L)	Análises do efluente das três caixas. 03 amostras coletadas para os sistemas 1 e 2. Uma amostra para o sistema 3	pH, CE, DQO, DBO, série de nitrogênio, fósforo total, óleos e graxas, sólidos, macro e micronutrientes
Peres et al., 2010	Artigo em periódico nacional	Espírito Santo do Pinhal (SP). 1 sistema (3 caixas de 1.000 L)	Análise do efluente da 1ª e 3ª caixa. 3 repetições	DQO, turbidez e pH
Leonel et al., 2013	Trabalho em congresso internacional	São Carlos (SP). 1 sistema (5 caixas de 1.000 L)	Análise do efluente da 1ª e 3ª caixa. 3 repetições	pH, potencial redox, CE, temperatura, turbidez, Coliformes Totais e Termotolerantes
Barboni e Rochetto, 2016	Trabalho em congresso nacional	Espírito Santo do Pinhal (SP). 1 sistema (4 caixas de 1.000 L, uma adição de esterco)	Análise do efluente da 1ª e 3ª caixa. Amostragem única	DQO, DBO, turbidez, pH, fósforo, nitrato, alcalinidade, ácido carbônico, coliformes totais e <i>E. Coli</i>
Lotfi, 2016	Monografia	São Carlos (SP). 7 sistemas (3 caixas de 1.000 L)	Análise do efluente da primeira e última caixa. Amostragem única	DBO, P _{total} , NTK, <i>E. coli</i> e Coliformes Totais
Soares et al., 2016 a	Trabalho em congresso nacional	Corumbá (MS). 2 sistemas (4 caixas de 1.000 L)	Análise do efluente da 1ª e 3ª caixa. 7 repetições em cada sistema	Temperatura, pH, CE, série de sólidos, DBO e DQO
Soares et al., 2016 b	Trabalho em congresso nacional	Corumbá (MS). 2 sistemas (4 caixas de 1.000 L)	Análise do efluente da 1ª e 3ª caixa. 7 repetições em cada sistema	Coliformes totais e termotolerantes, helmintos, protozoário <i>Balantidium coli</i> e <i>Salmonella sp</i>
Frade et al., 2017	Trabalho em congresso nacional	São Francisco de Paula (MG). 1 sistema (3 caixas de 1000 L)	Análise do efluente da última caixa. Amostragem única	DQO, DBO, pH, cor, turbidez, Coliformes totais e <i>E. Coli</i>
Oliveira, 2018	Dissertação de Mestrado	Ouro Preto (MG). 1 sistema (3 caixas de 1000 L)	Análise do efluente da 1ª, 2ª e 3ª caixa em diferentes alturas. 6 repetições durante um mês de análise	Sólidos, temperatura, pH, OD, DBO, DQO, N amoniacal, P _{total} , <i>E. coli</i> , <i>Salmonella sp</i> , <i>Enterococcus faecalis</i> e adenovírus

DBO: demanda bioquímica de oxigênio. DQO: demanda química de oxigênio. NTK: nitrogênio total Kjeldahl. P_{total}: fósforo total. CE: condutividade elétrica. pH: potencial hidrogeniônico.

2 METODOLOGIA

A FSB em estudo foi implantada em uma comunidade rural localizada no município de Campinas (SP). O sistema foi empregado dentro do contexto de um projeto de pesquisa e extensão universitária

financiado pela Unicamp (MADRID et al., 2015; FIGUEIREDO, 2019), sendo construído com três caixas d'água de polietileno semienterradas com capacidade de 1.000 L (0,80 m de altura e 1,48 m de diâmetro na base), conectadas em série (Figura 2).

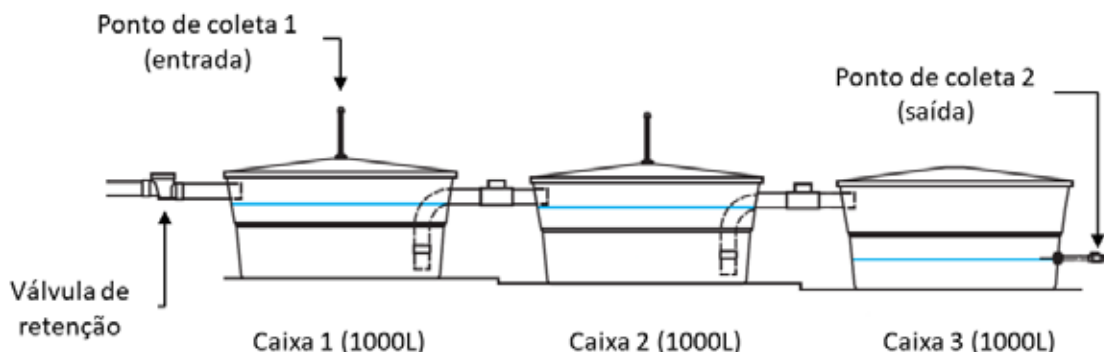


Figura 2 - Esquema da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) implantada. Os pontos *entrada* e *saída* assinalam os pontos de coleta de amostras para avaliação do sistema. Fonte: Adaptado de Silva, Marmo e Leonel (2017).

As caixas possuíam tampa do tipo rosqueável, que permite uma boa vedação sem deformação (Figura 3). As conexões entre as caixas foram feitas com tubulação de PVC de 100 mm, seguindo as

orientações propostas pela Embrapa (SILVA, MARMO e LEONEL, 2017). Foi instalada uma válvula de retenção antes da primeira caixa para a inspeção da tubulação e introdução do esterco.



Figura 3 - Fossa Séptica Biodigestora construída na área rural de Campinas (SP). Esquerda - Visão geral do sistema. Direita - Registro localizado na base da terceira caixa, de onde era retirado o efluente para a irrigação. Fonte: Figueiredo (2019)

O sistema foi dimensionado para tratar o esgoto produzido no vaso sanitário (urina + fezes) de uma residência rural de quatro pessoas. Os moradores foram instruídos a realizar a higienização do vaso sanitário segundo as recomendações de Silva, Marmo e Leonel (2017), que sugerem que seja utilizado álcool, detergente ou sabão em pequenas quantidades para sua limpeza, evitando o uso de produtos à base de cloro e desinfetantes.

O sistema entrou em operação em janeiro de 2017 e as análises laboratoriais foram iniciadas três meses depois. O monitoramento do sistema ocorreu quinzenalmente, por oito meses consecutivos (n=16), de abril a novembro de 2017. As oito primeiras amostras (abril a julho de 2017), denominadas “*sem esterco*”, avaliaram a qualidade do efluente produzido sem a adição mensal da mistura inoculante de esterco bovino. Depois de finalizada essa etapa, foi iniciada a aplicação do inóculo de esterco mensalmente e foram avaliadas as alterações no efluente em mais oito amostragens quinzenais (agosto a novembro de 2017) denominadas “*com esterco*”. A mistura de esterco bovino fresco e água na proporção 1:1 foi introduzida na FSB através da válvula de retenção, conforme recomendação da Embrapa (SILVA, MARMO e LEONEL, 2017) (Figura 3).

As coletas das amostras eram realizadas na primeira caixa (Ponto de Coleta 1) e na saída da última caixa (Ponto de Coleta 2) (Figura 2). A Caixa 1 foi considerada o ponto de coleta de esgoto “bruto” (*entrada*), embora a digestão anaeróbia já ocorresse neste local. As amostras eram coletadas com auxílio de uma garrafa plástica de 200 mL, evitando a coleta de material sobrenadante e do sedimento. O vasilhame de coleta vertia o conteúdo coletado em outro recipiente com capacidade de 1,0 L. O Ponto de Coleta 2 representa o efluente final tratado (*saída*), também denominado biofertilizante (SILVA, MARMO e LEONEL, 2017), que é armazenado na terceira caixa antes de ser aplicado no solo. O efluente era coletado diretamem-

te em um recipiente de 1,0 L, a partir da tubulação final (Figura 2 e 3). No presente estudo, esse efluente era disposto em uma plantação comercial de goiabas (*Psidium guajava*). Para coleta das amostras destinadas a análises microbiológicas, era utilizado um frasco de 250 mL previamente autoclavado por 15 minutos a 120°C e 1 atm.

Todas as amostras foram coletadas no período da manhã e armazenadas a 4°C durante o transporte até o Laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas (LABSAN/FEC/Unicamp) onde eram analisadas.

Os parâmetros avaliados durante o experimento foram: turbidez, pH, condutividade elétrica (CE), demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO), sólidos suspensos totais (SST), fósforo total (P_{total}), Coliformes Totais e *Escherichia coli*. Todas as análises foram realizadas com base nos métodos descritos em APHA et al. (2012).

Foram calculadas as médias e os desvios padrão para todos os parâmetros avaliados em cada etapa. A eficiência de remoção foi calculada a partir da diferença dos valores médios da entrada e saída do sistema. As médias das etapas “*sem esterco*” e “*com esterco*” foram comparadas por meio do teste não paramétrico de Mann-Whitney U com um nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Parâmetros físico-químicos

A Fossa Séptica Biodigestora (FSB) monitorada apresentou um tempo de detenção hidráulica (TDH) que variou entre 30 e 45 dias, o que ficou dentro do estipulado por Novaes et al. (2002) e superior ao sugerido por Galindo et al. (2010). Durante o período amostral não foram observa-

das deformações ou vazamentos nas caixas nem qualquer outro tipo de problema operacional.

Os valores de pH efluente (Tabela 2), tanto na entrada como na saída da FSB nos dois períodos analíticos (com e sem a adição de esterco),

indicaram um caráter ligeiramente básico. Esses valores são similares aos encontrados em outras pesquisas (FAUSTINO, 2007; PERES, HUSSAR e BELI, 2010; SOARES et al., 2010a; LEONEL, MARTELLI e SILVA, 2013; OLIVEIRA, 2018).

Tabela 2 - Dados obtidos para o efluente da Fossa Séptica Biodigestora (FSB) nos dois períodos amostrais (com e sem esterco)*.

Parâmetro	Com esterco			Sem esterco		
	Entrada	Saída	Eficiência média (%)	Entrada	Saída	Eficiência média (%)
DBO (mg O ₂ L ⁻¹)	640 ± 222a	213 ± 140a	66.7	562 ± 389a	225 ± 65a	60.0
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	1885 ± 327a	780 ± 139a	58.6	1724 ± 277a	895 ± 126a	48.1
P _{total} (mg P L ⁻¹)	33 ± 3a	20 ± 12b	39.3	33 ± 2a	31 ± 2a	6.1
SST (mg L ⁻¹)	955 ± 602a	180 ± 158a	81.1	389 ± 189b	121 ± 90a	68.7
Turbidez (NTU)	746 ± 513a	126 ± 24a	83.2	364 ± 108a	144 ± 26a	60.4
CE (mS cm ⁻¹)	6,1 ± 0,6a	5,4 ± 0,5a	-	6,3 ± 0,7a	6,6 ± 0,6a	-
pH	7,9 ± 0,2b	8,4 ± 0,2a	-	8,2 ± 0,2a	8,2 ± 0,1a	-

*Letras minúsculas diferentes em uma mesma linha indicam diferenças significativas entre as médias apresentadas (p > 0,05).

Alguns autores atribuem os maiores valores de pH do efluente à degradação de proteínas e ureia em meio anaeróbico, o que produz amônia ou íon amônio (SILVA, FAUSTINO e NOVAES, 2007; SILVA, 2014; SILVA et al., 2015). Outros sais de ácidos fracos como acetato, formiato e propionato também podem colaborar para a manutenção do pH básico do efluente que, quando aplicado no solo, pode corrigir ligeiramente a acidez dessa matriz (SILVA, 2014; MARINHO et al., 2013; MARINHO et al., 2014).

A condutividade elétrica (CE) do efluente final foi maior no tratamento *sem esterco* (6.6 ± 0.6 mS cm⁻¹), sendo significativamente diferente das amostras *com esterco* (5.4 ± 0.5 mS cm⁻¹). Embora os valores de CE na primeira caixa (*entrada*) não tenham sido considerados estatisticamente diferentes quando comparamos os dois tratamentos, os resultados para o efluente da *saída* se mostraram significativamente diferentes, o que indica que o esterco teve um papel importante nesse processo. Enquanto a CE no sistema *sem esterco* teve a tendência de aumentar no efluente

final, o oposto ocorreu no sistema operado com esterco, onde foi observada uma queda significativa no valor da CE.

Uma possível explicação para a diminuição dos valores de condutividade ocasionada pela adição de esterco é a composição desse material. Uma pesquisa realizada com esterco bovino no estado da Paraíba indicou que essa substância é composta majoritariamente de cinzas (56%) e de substâncias que compõem a estrutura da parede vegetal, tais como celulose, hemicelulose e lignina (33,1%) (GALVÃO, SALCEDO e OLIVEIRA, 2008), que são fibras orgânicas de cadeia longa que poderiam contribuir para adsorver os sais presentes no efluente, diminuindo o valor da CE. Essa hipótese, entretanto, precisa ser investigada de maneira mais aprofundada.

Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO, 2006), efluentes com CE maior que 3,0 dSm⁻¹ (3,0 mS cm⁻¹) devem ter restrição severa ao uso na irrigação, pois podem causar acúmulo de sais na solução do solo próxima à zona radicular, com-

prometendo a absorção de água pelas plantas (BASTOS e BEVILACQUA, 2006; GABRIELLI et al., 2015). Logo, mesmo com a adição de esterco bovino, os valores médios de CE encontrados na presente pesquisa estão bastante acima dos valores máximos recomendados pela literatura. Outros autores também encontraram valores acima do limite estabelecido pela WHO (2006), tais como: Leonel, Martelli e Silva (2013) (CE entre 2 e 4 mS cm⁻¹), Faustino (2007) (CE de 2,98 e 4,63 mS cm⁻¹) e Soares et al. (2016 a) (CE média de 3,50 mS cm⁻¹).

Mesmo com a alta condutividade do efluente final, alguns autores acreditam que ele possa ser indicado para uso como biofertilizante quando empregado de modo controlado (SILVA, 2014; SOARES et al., 2016 a). Para isso, seria importante garantir uma dosagem ideal de acordo com cada tipo de cultura e regime climático, sem haver a contínua disposição do efluente tratado em uma única porção de solo. Por sua vez, não há recomendações claras sobre a sua aplicação nas publicações elaboradas pela Embrapa referentes ao uso da FSB.

O lançamento da água residual de forma frequente em um mesmo local proporciona inicialmente um benefício para a planta, devido ao acesso à fonte de água e nutrientes, porém a médio e longo prazo acarreta a salinização do solo e prejuízos à cultura irrigada.

Algumas medidas, como a adição de matéria orgânica ao solo, podem atuar de maneira benéfica contra os efeitos da salinização (WHO, 2006), mas esse manejo deve ser feito com frequência e com supervisão de técnicos, que também devem ser consultados para a determinação da dosagem ideal para cada tipo de cultura. O acesso a esses profissionais pode ser raro em alguns contextos rurais brasileiros. Além disso, a adubação nas pequenas propriedades brasileiras é feita frequentemente com base em orientações empí-

ricas (LORENÇO JUNIOR, 2011), o que poderia levar ao uso excessivo ou equivocado do efluente.

Na presente pesquisa, os usuários foram orientados a alterar o local de aplicação do efluente a cada momento em que era realizado o esvaziamento da última caixa da FSB (Figura 3), de modo a impedir a aplicação do efluente final em uma única porção de solo, diminuindo, assim, a possibilidade de salinização. No entanto, não foi observada essa prática. Normalmente a tubulação utilizada na aplicação era mantida em uma única posição sobre a superfície do terreno, havendo somente a abertura do registro para esvaziamento da caixa de armazenamento. Segundo os usuários, para a execução do recomendado seria necessária a aquisição de longas extensões de tubos e o uso de um sistema de bombeamento para garantir uma melhor distribuição do efluente final, atingindo áreas distantes do local de instalação da FSB.

Quanto aos sólidos suspensos totais (SST), não foi observada diferença significativa entre os dois tratamentos analisados (Tabela 2). Os altos valores de SST (*com esterco*: 180 ± 158 mg L⁻¹; *sem esterco*: 121 ± 90 mg L⁻¹) estão de acordo com valores observados em outras pesquisas realizadas com FSB. Faustino (2007) obteve valores de 130 e 134 mg L⁻¹, enquanto Soares et al. (2016) observaram um valor médio de 151 mg L⁻¹.

Para a turbidez também não houve diferença significativa entre os tratamentos; no entanto, os valores médios no efluente final mostraram-se muito superiores aos observados por outros pesquisadores (*com esterco*: 126 ± 24 NTU; *sem esterco*: 144 ± 26 NTU). Para Leonel, Martelli e Silva (2013), que pesquisaram sistemas compostos de cinco caixas de 1.000 L, a turbidez do efluente final foi de aproximadamente 20 NTU, e para Peres, Hussar e Beli (2010), os valores encontrados variaram entre 40 e 59 NTU.

Embora as médias de turbidez no efluente final sejam superiores aos valores encontrados em

outros estudos, a remoção média para esse parâmetro (83,2% no sistema *com esterco*) foi similar à encontrada por Leonel, Martelli e Silva (2013) e muito superior à encontrada por Peres, Hussar e Beli (2010).

Uma possível explicação para valores altos de SST e turbidez no efluente final é o fato de a coleta do efluente ter sempre ocorrido por meio de uma mangueira conectada ao fundo da terceira caixa (Figura 3). É a partir dessa mangueira que ocorre a aplicação do efluente na área agrícola. Na região de fundo da caixa poderia ter ocorrido acúmulo de sólidos decantados, conferindo uma turbidez

e teor de SST maiores ao efluente final do que se esse fosse coletado da parte superior da caixa. Oliveira (2018) observou o acúmulo de sólidos na parte inferior das três caixas que compõem a FSB e sugere que o ponto de coleta das amostras influencia significativamente nos resultados.

Em relação à matéria orgânica, os resultados para DBO (Figura 4) não indicaram que a adição de esterco bovino afete significativamente a qualidade final do efluente da FSB. Os valores encontrados para a etapa em que havia a adição de esterco e para aquela em que não havia a adição desse material não apresentaram diferença significativa.

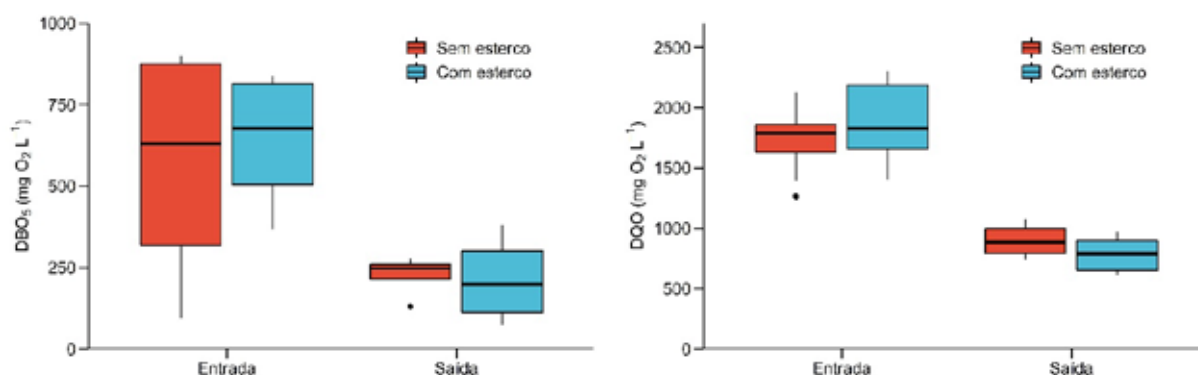


Figura 4 - Efeito da adição do esterco sobre a DQO e DBO.

Os valores médios de DBO observados neste estudo (*com esterco*: $213 \pm 140 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ e *sem esterco*: $225 \pm 65 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) são próximos aos encontrados por Faustino (2007) (191 e $316 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), porém são mais altos do que os relatados por Lofti (2016) ($24,9$ a $106,3 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) e Soares et al. (2016a) (média de $59,2 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$).

A eficiência de remoção média de DBO observada nesta pesquisa foi de 66,7% para o sistema com a adição de esterco, valor menor do que a remoção média de 87,1% encontrada por Soares et al. (2016a), que trabalharam com um sistema com tempo de detenção hidráulica maior (quatro caixas de 1.000 L), mas similar às remoções de alguns dos sete sistemas estudados por Lof-

ti (2016), que também eram compostos de três caixas de 1.000 L.

Para DQO (Figura 4), também não houve diferença significativa entre os efluentes finais gerados nas duas etapas do estudo. A DQO média de $780 \pm 139 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ encontrada para o efluente final *com esterco* foi ligeiramente mais alta do que os valores encontrados por Faustino (2007) (605 e $528 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), Peres, Hussar e Beli (2010) ($584 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$) e Soares et al. (2016a) ($443 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$). No entanto, a remoção média do sistema operado com a adição de esterco (58,6%) foi bastante semelhante à remoção obtida por Peres, Hussar e Beli (2010) (55%).

Essa baixa eficiência na remoção de matéria orgânica pode ser fruto da simples sedimentação do material particulado no interior das caixas que compõem o sistema. Essa característica aproxima a FSB de um tanque séptico, no qual há pouco contato entre a biomassa e a parcela dissolvida da matéria orgânica presente no líquido.

Um fator que atrai o interesse do agricultor para o uso da FSB é a produção do biofertilizante, nome dado ao efluente final produzido pelo sistema de tratamento, associado à presença de nutrientes, como o fósforo (P) em sua composição. A concentração de P_{total} no efluente final nos dois períodos analíticos (*com e sem esterco*) foi similar. No entanto, houve uma tendência de a adição de esterco diminuir a disponibilidade de fósforo no efluente final (P_{total} de $20 \pm 12 \text{ mg P L}^{-1}$ *com esterco* e $31 \pm 2 \text{ mg P L}^{-1}$ *sem esterco*). Uma possível explicação para esse comportamento seria a adsorção do fósforo nas moléculas de carga negativa presentes naturalmente na composição do esterco bovino. Lofti (2016) observou remoções semelhantes nos sete sistemas estudados

(remoção entre 9,2 e 48,1%, com média de 37%) e valores de P_{total} entre 16,7 e 50,5 mg P L^{-1} . Possivelmente, parte desse material que adsorve o fósforo acaba sendo depositado nas caixas, formando um lodo que ao longo do período analítico do presente estudo acabou sendo acumulado em maior medida.

Deste modo, analisando-se o conjunto dos parâmetros físicos e químicos (DBO, DQO, P, SST, turbidez e pH), não foi notada qualquer interferência significativa da adição mensal de esterco bovino sobre a qualidade do efluente final, o que demonstra que sua adição não é necessária para o tratamento de água residual proveniente de vaso sanitário pela FSB.

3.2 Parâmetros microbiológicos

Quanto aos parâmetros microbiológicos, também não houve diferença significativa na concentração final de coliformes totais e *Escherichia coli* no efluente final dos dois tratamentos avaliados (*com e sem esterco*) (Tabela 3).

Tabela 3 - Média da concentração de coliformes totais e *Escherichia coli* na Fossa Séptica Biodigestora*.

Regime	Ponto de coleta	Coliformes totais		<i>E. coli</i>	
		Média (NMP 100 mL ⁻¹)	Coefficiente de variação [%]	Média (NMP 100 mL ⁻¹)	Coefficiente de variação
<i>Sem esterco</i>	Entrada	$4,6 \times 10^6 a$	66,24	$1,3 \times 10^6 a$	71,21
	Saída	$2,6 \times 10^4 a$	36,79	$8,9 \times 10^3 a$	72,46
	Remoção	99,4%	-	99,3%	-
<i>Com esterco</i>	Entrada	$1,74 \times 10^6 a$	38,93	$6,83 \times 10^5 a$	34,89
	Saída	$5,28 \times 10^4 a$	33,90	$3,20 \times 10^4 a$	106,90
	Remoção	97,0%	-	95,3%	-

*Letras minúsculas diferentes em uma mesma coluna indicam diferenças significativas entre as médias apresentadas ($p > 0,05$). NMP: Número mais provável.

Assim como nos estudos desenvolvidos por Leonel, Martelli e Silva (2013), Lotfi (2016) e Soares et al. (2016b), no presente trabalho foi observada uma alta porcentagem de remoção de organismos indicadores pelo sistema, acima de 95% (Tabela 3). No entanto, é importante destacar que devemos ser

cuidadosos ao exaltar uma alta porcentagem de remoção de micro-organismos por um sistema de tratamento. Como podemos observar na Tabela 3, mesmo quando a porcentagem de remoção foi igual a 99,4% para coliformes totais, a concentração no efluente final foi igual a $2,6 \times 10^4 \text{ NMP } 100^{-1} \text{ mL}$.

Ao contrário do observado neste estudo e em trabalhos anteriores (LEONEL, MARTELI e SILVA, 2013; LOFTI, 2016; SOARES et al., 2016b, OLIVEIRA, 2018), Novaes et al. (2002) afirmam ter observado ausência de coliformes fecais no efluente final da FSB. A publicação de Novaes et al. (2002) foi uma das pioneiras sobre FSB e ainda é a mais popular, porém não menciona o número de amostras analisadas nem detalha as condições experimentais. Esses autores afirmam que a FSB é um sistema que evita a proliferação de doenças de veiculação hídrica, sendo um dos seus benefícios a eliminação de patógenos. Contudo, a alta concentração de organismos indicadores observadas nesta pesquisa, bem como os resultados observados por Soares et al. (2016b), que relataram a presença das bactérias patogênicas *Salmonella sp* e *Balantidium coli* em amostras de efluente tratado pela FSB, e Oliveira (2018), que observou a presença de *Salmonella sp*, *Enterococcus spp* e adenovírus no efluente final e especialmente no lodo acumulado no reator, indicam que é necessário cautela quanto ao uso desse efluente como biofertilizante, assim como com o seu manuseio, de modo a garantir-se a segurança à saúde dos usuários dessa tecnologia.

No Brasil, as normas para o reúso agrícola ainda são incipientes e bastante vagas (CNRH 54, 2005 e CNRH 121, 2010). Desse modo, os valores de referência estipulados pelo guia da Organização Mundial de Saúde (OMS) são normalmente utilizados. A OMS recomenda para uso irrestrito na agricultura uma concentração máxima de 10^3 *E. coli* por 100 mL de efluente (WHO, 2006). Alguns autores, como Bastos e Bevilacqua (2006), propõem que para a irrigação superficial de culturas como as frutíferas, o número máximo de coliformes termotolerantes ou de *E. coli* não deve ultrapassar 10^4 . Assim, mesmo levando em conta esse valor, podemos constatar que em praticamente todas as situações as concentrações observadas no presente estudo foram superiores (Tabela 3).

3.3 Uso do efluente da FSB como biofertilizante

Mesmo com a inativação de patógenos ocorrendo de forma natural nos solos, existem grupos mais resistentes e condições ambientais mais propícias à contaminação ambiental (WHO, 2006; LEONEL et al., 2016). Por isso, algumas publicações recomendam que o uso de efluente tratado na produção agrícola seja sempre acompanhado de apoio técnico e que seja observada não somente a melhoria da produtividade agrícola mas também questões de saúde pública (TONETTI et al., 2018).

Não podemos ser norteados exclusivamente pelo emprego do efluente da FSB como biofertilizante; há a necessidade de termos preocupação quanto à presença de organismos patogênicos. Os nutrientes e micronutrientes existentes no efluente final desse sistema de tratamento também estão dissolvidos no esgoto bruto que o alimenta, pois os processos anaeróbios que ocorrem na FSB não possuem uma capacidade significativa de remoção de nutrientes ou organismos patogênicos (DE OLIVEIRA CRUZ et al., 2019 e DE OLIVEIRA CRUZ et al., 2018). Logo, as razões sanitárias que nos impedem de aplicar o esgoto bruto no solo são as mesmas que devem ser utilizadas para nos alertar quanto ao uso do efluente final de uma FSB.

Outro ponto importante a ser considerado é que a FSB é um sistema desenvolvido para residências unifamiliares. Nesse caso, os moradores normalmente constroem nas proximidades da residência e, conseqüentemente, o uso do efluente gerado ocorre nas imediações da moradia. Como a aplicação do efluente é feita de forma superficial, há uma grande probabilidade de ocorrer o contato dos moradores com o solo que recebeu a aplicação recente de efluente. Outra possibilidade seria o contato de animais domésticos com essa área. Como exemplo, foi observado na presente pesquisa que cachorros lambiam o efluente final e se deitavam sobre a região de aplicação do efluente (Figura 5). Também foi observado que estes mesmos animais entravam na residência, potencializando a difusão de doenças de veiculação hídrica.



Figura 5 - Situações reais registradas na propriedade com a FSB instalada. Esquerda - Aplicação do efluente no solo sem o uso de luva. Direita - Descanso de animais domésticos em área recém irrigada com efluente da FSB.

Outro ponto que causa preocupação é que, mesmo recebendo orientação quanto aos cuidados sobre o uso do efluente tratado, os moradores acabam fazendo a aplicação do efluente sem o uso de luvas (Figura 5). Mais uma vez, essa ação pode contribuir para a disseminação de patógenos.

No entanto, a FSB tem demonstrado grande capacidade de disseminação e é recebedora de prêmios no Brasil devido à sua facilidade construtiva e baixo custo. Logo, cabe o reconhecimento desse aspecto positivo no uso da FSB, porém devem ser buscadas melhorias em sua concepção e construção.

Uma proposta viável seria a infiltração do efluente tratado no solo por meio de valas de infiltração, tais como aquelas preconizadas na norma brasileira NBR 13969 (ABNT, 1997). Também pode ser sugerida a construção de valas de infiltração alternativas (TONETTI et al., 2018), a exemplo daquelas preenchidas com varas de bambu (Figura 6). Ao redor dessas valas podem ser plantadas árvores frutíferas que se beneficiariam do efluente infiltrado. Essa ação impediria o contato do morador com o efluente durante a aplicação e impediria o acesso de animais à água residuária, dificultando a disseminação de doenças de veiculação hídrica e permitindo o uso dos nutrientes presentes no efluente final.



Figura 6 - Vala de infiltração preenchida com varas de bambu implantada em uma área rural de Campinas (SP).

4 CONCLUSÕES

Durante a análise do conjunto dos parâmetros físicos e químicos (DBO, DQO, P, SST, turbidez e pH), não foi notada qualquer interferência significativa da adição mensal de esterco bovino sobre a qualidade do efluente final da Fossa Séptica Biodigestora (FSB). Isso demonstra que o emprego desse material ao utilizar-se a FSB no tratamento de água residual proveniente de vaso sanitário é desnecessário.

Os altos valores observados para a concentração de *E. coli* no efluente final sugerem que é necessária grande atenção quanto ao uso do efluente como biofertilizante. Até mesmo sua disposição diretamente sobre o solo deve ser impedida devido ao alto risco de difusão de doenças de veiculação hídrica. Também devem ser exigidos cuidados quanto ao seu manuseio, a fim de garantir a segurança do usuário e de sua família.

Uma proposta viável para minimizar os riscos à saúde e manter o uso do efluente final como um biofertilizante seria sua infiltração no solo por meio de valas de infiltração. O plantio de árvores frutíferas ao redor das valas garantiria o uso

de nutrientes pelas plantas e impediria o contato dos usuários e animais com a água residuária, dificultando a disseminação de doenças de veiculação hídrica.

5 AGRADECIMENTOS

Agradecemos à CAPES e ao CNPq (311275/2015-0) pelas bolsas de mestrado e doutorado recebidas e à Fapesp (Processo 2017/07490-4) pelo Auxílio à Pesquisa. Também agradecemos à Pró Reitoria de Extensão e Cultura (ProEC) da Unicamp pelos recursos financeiros destinados ao Projeto Saneamento Rural.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7229: Projeto, construção e operação de sistema de tanques sépticos**. Rio de Janeiro. 15 p. 1993.

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação**. Rio de Janeiro. 60 p. 1997.

- BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D. Capítulo 2: Normas e critérios de qualidade para reúso da água. In: FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X.; AISSE, M. M. (coord). **Tratamento e utilização de esgotos sanitários**. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p. 427.
- BARBONI, J. T.; ROCHETTO, U. L. 2016. **Análise da eficiência de fossa séptica biodigestora para tratamento de esgotos domésticos em área rural**. In: XI Congresso Nacional de Meio Ambiente de Poços de Caldas. Poços de Caldas, MG, 2016.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Portaria nº 268**, de 22 de março de 2017. Regulamenta o Programa Nacional de Habitação Rural, integrante do Programa Minha Casa, Minha Vida. Brasília, DF, 2017.
- CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 54**, de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005.
- CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 121**, de 16 de dezembro de 2010. Estabelece diretrizes e critérios para a prática de reúso direto não potável de água na modalidade agrícola e florestal, definida na Resolução CNRH no 54, de 28 de novembro de 2005. Brasília, DF, 2010.
- DE OLIVEIRA CRUZ, L. M.; TONETTI, A. L.; GOMES, B. G. L. A. Association of septic tank and sand filter for wastewater treatment: full-scale feasibility for decentralized sanitation. **Journal of Water, Sanitation and Hygiene for Development** (2018) 8 (2): 268-277. <https://doi.org/10.2166/washdev.2018.094>.
- DE OLIVEIRA CRUZ, L. M.; GOMES, B. L. A.; TONETTI, A. L.; FIGUEIREDO, I. C. S. Using coconut husks in a full-scale decentralized wastewater treatment system: the influence of an anaerobic filter on maintenance and operational conditions of a sand filter. **Ecological Engineering** 127 (2019) 454-459. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.12.021>.
- EMBRAPA. **Governo adota Fossa Séptica Biodigestora desenvolvida na Embrapa como política pública**. Portal Saneamento Básico, 2017. Disponível em: <<https://www.saneamentobasico.com.br/governo-fossa-septicabiodigestora-desenvolvida-na-embrapa/#.WZHE-PnjgKY.facebook>>. Acesso em 24 de abril de 2017.
- FAUSTINO, A. S. **Estudos físico-químicos do efluente produzido por fossa séptica biodigestora e o impacto do seu uso no solo**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Química), Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). São Carlos, São Paulo, 2007.
- FBB. **Tecnologia Social, Fossa Séptica Biodigestora. Saúde e Renda no Campo: saiba como montar um sistema inovador de esgoto sanitário**. Fundação Banco do Brasil. Brasília, DF, p. 32, 2010.
- FIGUEIREDO, I. **Tratamento de esgoto na zona rural: diagnóstico participativo e aplicação de tecnologias alternativas**. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Unicamp. Campinas, São Paulo, 2019.
- FUNASA. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento: orientações técnicas**. Brasília, DF, 3ed, 2007.
- FUNASA. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de Saneamento**. Brasília, DF, 4ed, 2015.
- FUNASA. Ministério de Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **CataloSan: Catálogo de soluções sustentáveis de saneamento - gestão de efluentes domésticos**. Brasília, DF, 50 p. Eds: Paulo, P.L.; Galbiati, A.F.; Magalhães, F.J.C., 2018.
- FRADE, P.R.; SOUZA, V.S.; SILVA, F.L.; MELO, F.L.; AMÂNCIO, D.V. 2017. **Caracterização de esgoto oriundo de fossa séptica biodigestora e os efeitos da sua aplicação no solo**. Congresso ABES, 2017.
- GABRIELLI, G.; PAIXÃO FILHO, J. L.; CORAUCCI FILHO, B.; TONETTI, A. L. Ambiance rose production and nutrient supply in soil irrigated with treated sewage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.19, n.8, p.755-759, 2015. [dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p755-759](https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n8p755-759)
- GALINDO, N.; SILVA, W. T. L.; NOVAES, A. P.; GODOY, L. A.; SOARES, M. T. S.; GALVANI, F. 2010. **Documentos 49: Perguntas e respostas: fossa séptica biodigestora**. Embrapa Instrumentação, São Carlos, São Paulo, p. 26, 2010.
- GALVÃO, S. R. S.; SALCEDO, I. H.; OLIVEIRA, F. F. **Acumulação de nutrientes em solos arenosos adubados com esterco bovino**. Pesquisa agropecuária brasileira. Brasília, DF, v.43, n.1, p.99-105, 2008.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional por amostra de domicílios 2014**. Rio de Janeiro, RJ, v.33, p. 133, 2014.
- LEONEL, L. F.; MARTELLI, L. F. DE A.; SILVA, W. T. L. Avaliação do efluente de fossa séptica biodigestora e jardim filtrante. **III Symposium On Agricultural And Agroindustrial Waste Management**. São Pedro, São Paulo, 2013.
- LEONEL, L. P.; TONETTI, A. L.; SILVA, J. C. P.; NUNES, E. A.; ANARUMA FILHO, F. Reuse of sewage treated effluent in agricultural practices: An alarming presence of Giardia spp. Cyst. **Ecological Engineering** 94 (2016) 682-687. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.06.126
- LOFTI, P.C.S. **Avaliação preliminar da eficiência de fossas biodigestoras no tratamento de esgoto unidomiliar- Assentamento Nova São Carlos e Santa Helena, São Carlos (SP)**. Trabalho de conclusão de curso (graduação), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP). São Carlos, São Paulo, 2016.
- LOURENÇO JUNIOR, B.A. **Desenvolvimento de laranja Pêra Citrus sinensis (L.) Osbeck enxertada em limoeiro cravo (Citrus limonia) e cultivada com pó de basalto**. Dissertação (Mestrado em Fisiologia do Desenvolvimento Vegetal), Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista (Unesp). Botucatu, São Paulo, 87p, 2011.
- MADRID, F.J.PY.L., FIGUEIREDO, I; C. S., FERRÃO, A. M. DE A., TONETTI, A. L. Metodologia de desenvolvimento eco-sistêmico

aplicado ao paradigma do saneamento descentralizado. **Revista Monografias Ambientais** – REMOA. Santa Maria, RS, v.14, n.1, p.101-105, 2015.

MARINHO, L.E.O., TONETTI, A.L., STEFANUTTI, R., CORAUCCI FILHO, B., 2013. Application of Reclaimed Wastewater in the Irrigation of Rosebushes. **Water, Air and Soil Pollution** (Dordrecht. Online), 224, 1669. doi.org/10.1007/s11270-013-1669-z

MARINHO, L.E.O., CORAUCCI FILHO, B., ROSTON, D.M., STEFANUTTI, R., TONETTI, A.L., 2014. Evaluation of the productivity of irrigated eucalyptus grandis with reclaimed wastewater and effects on soil. **Water Air Soil Pollut.** 225, 1830 (Print). doi.org/10.1007/s11270-013-1830-8

NOVAES, A. P.; SIMÕES, M. L.; MARANTIN-NETO, L.; CRUVINEL, P. E.; SANTANA, A.; NOVOTNY, E. H.; S SANTIAGO, G.; NOGUEIRA, A. R. A. **Comunicado Técnico 46: Utilização de uma fossa séptica biodigestora para melhoria do saneamento rural e desenvolvimento da agricultura orgânica.** Embrapa Instrumentação Agropecuária. São Carlos, São Paulo, p.5, 2002.

OLIVEIRA, T. J. J. **Fossa séptica biodigestora: limitações e potencialidades da sua aplicação para o tratamento de águas fecais em comunidades rurais.** Dissertação (Mestrado), UFOP. 106 p. 2018

PERES, L. J. S.; HUSSAR, G. J.; BELI, E. **Eficiência do tratamento de esgoto doméstico de comunidades rurais por meio de fossa séptica biodigestora.** Trabalho de conclusão (Graduação em Engenharia Ambiental), Unipinhal. Espírito Santo do Pinhal, São Paulo, v. 7, n. 1, p. 020-036, 2010.

SERAFIM, M. P.; DIAS, R. B. Tecnologia social e tratamento de esgoto na área rural. In: COSTA, A. B. (Org.). **Tecnologia Social e Políticas Públicas.** Instituto Pólis, Fundação Banco do Brasil. Gapi/UNICAMP. São Paulo, SP, p. 284, 2013.

SILVA, W. T. L. DA; FAUSTINO, A. S.; NOVAES, A. P. de. **Documentos 34: Eficiência do processo de biodigestão em fossa séptica biodigestora inoculada com esterco de ovino.** Embrapa Instrumentação Agropecuária. São Carlos, SP, p. 20, 2007.

SILVA, W. T. L. **Saneamento básico rural / ABC da Agricultura Familiar.** Embrapa. Brasília, DF, p. 68, 2014.

SILVA, W.; SILVA, J. **Fossa séptica biodigestora beneficia 57 mil pessoas no campo.** Revista Fator Brasil. 2016. Disponível em: <http://www.revistafatorbrasil.com.br/ver_noticia.php?not=323282>. Acesso em: 2 de abril de 2019.

SILVA, W. T. L.; MARMO, C. R.; LEONEL, L. F. 2017. **Memorial Descritivo: Montagem e Operação da Fossa Séptica Biodigestora. Documentos 65.** EMBRAPA Instrumentação. São Carlos, São Paulo, p. 27, 2017.

SILVA, J. **Efluente tratado de fossa biodigestora serve de adubo para pequenos produtores.** Embrapa Instrumentação. São Carlos, São Paulo, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/39759154/efluente-tratado-de-fossa-biodigestora-serve-de-adubo-para-pequenos-produtores?link=agencia>. Acesso em: 12 de dezembro de 2018.

SILVA, J. C. P.; TONETTI, A. L.; LEONEL, L. P.; COSTA, A. Denitrification on upflow-anaerobic filter filled with coconut shells (Cocos nucifera). **Ecological Engineering**, v. 82, p. 474-479, 2015. doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.007

SOARES, M. T. S.; CALHEIROS, D.F.; GALVANI, F.F.; CAMPOLIN, A.I.; DA SILVA, W.T.L. Parâmetros Físico-Químicos e Eficiência de Fossa Séptica Biodigestora na Redução da Carga orgânica de Esgoto Originado de Água Doce ou Salobra, na Borda Oeste do Pantanal. **Cadernos de Agroecologia.** Vol. 11, n. 2, 2016a.

SOARES, M. T. S.; CALHEIROS, D.F.; GALVANI, F.F.; CAMPOLIN, A.I.; DA SILVA, W.T.L. Eficiência de Fossa Séptica Biodigestora na Redução de Parâmetros Biológicos em Esgoto Originado de Água Doce ou Salobra, na Borda Oeste do Pantanal. **Cadernos de Agroecologia.** Vol. 11, n. 2, 2016b.

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. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções.** Biblioteca/Unicamp. Campinas, São Paulo, 153 p, 2018.

WHO - World Health Association. **WHO Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater: Volume 2. Wastewater use in agriculture.** p. 196, 2006.