



Sistema de recomendação de adubação com efluente de esgoto tratado em manejos multicondições para fertirrigação de milho

Lucas Akira T. Quaresma¹ Ednaldo José Ferreira², Wilson Tadeu Lopes da Silva²,
Luis Henrique Bassoi²

¹Instituto Federal de Alagoas – Campus Piranhas (IFAL) Endereço 1521, Av. Sergipe, 1477, Piranhas - AL, CEP 57460-000

² Embrapa Instrumentação Endereço R. 15 de Novembro, 1452 - Centro, São Carlos – SP. CEP 13560-970

{latq1@aluno.ifal.edu.br, ednaldo.ferreira@embrapa.br, wilson.lopes-silva@embrapa.br, luis.bassoi@embrapa.br}

Abstract. Sewage treatment from rural areas is precarious in Brazil, causing environmental and health impacts. The biogas septic tank has shown itself as a solution, producing treated sewage effluent (TSE) that can be reused in fertilization. Some works with TSE in agriculture targets specific conditions, but they do not translate into a generic and algorithmic solution capable of dealing with multiple conditions of cultivation as well as TSE production and quality. In this article, we present a new multi-condition method to TSE reuse in recommendations for corn fertirrigation. The definition of a multicondition flow enabled the development of a responsive application (Web app). The simulations and comparisons carried out resulted in doses similar to the technical recommendations, a bit higher than the literature for nitrogen and slightly lower for potassium and phosphorus. The derived recommendation system constitutes a practical solution for EET reuse in small-scale agriculture.

Resumo. O tratamento de esgoto em áreas rurais é precário no Brasil, trazendo impactos ambientais e à saúde. A fossa séptica biodigestora se apresenta como solução, produzindo efluente de esgoto tratado (EET) reusável na adubação. Os trabalhos com EET na agricultura miram condições específicas, mas não se traduzem em uma solução genérica e algorítmica capaz de lidar com as múltiplas condições do cultivo, produção e qualidade do EET. Neste artigo, apresentamos um novo método multicondições ao reuso EET em recomendações para fertirrigação de milho. A definição de um fluxo multicondições viabilizou o desenvolvimento de um aplicativo responsivo (Web app). As simulações e comparações realizadas resultaram em doses similares às recomendações técnicas, superiores à literatura para nitrogênio e ligeiramente inferiores para potássio e fósforo. O sistema de recomendação

derivado constitui uma solução prática para reuso do EET na agricultura familiar e de pequena escala.

1. Introdução

No Brasil, em 2017, constatou-se que 39,7% dos municípios não possuíam sistema de tratamento de esgoto, enquanto apenas 62,8% realizavam o tratamento adequado. Essa situação é ainda mais crítica em áreas rurais, representando um risco para a qualidade de vida dos habitantes e impactos negativos ao meio ambiente. Muitas vezes, o descarte de efluentes de esgoto nessas áreas é realizado de forma precária, causando contaminação ambiental e disseminação de doenças (Silva, 2014; Cabral, 2020).

Diversas abordagens e técnicas têm sido desenvolvidas e/ou aprimoradas a fim de mitigar os impactos ambientais e sanitários causados pelo descarte inadequado de efluentes de esgoto. Algumas delas têm visado o reaproveitamento do efluente de esgoto tratado (EET) por fossa séptica biodigestora para uso agrônomico em abordagens conjuntas com a irrigação, especialmente adequadas para propriedades rurais e assentamentos (SILVA *et al.*, 2017; SILVA, 2014). O reuso do EET em manejos de fertirrigação é particularmente atraente dada a riqueza de nutrientes que promovem a fertilidade (adubação), particularmente pelos seus teores de nitrogênio (N). Contudo, a adubação suplementar com EET ainda requer cautela e protocolos de aplicação seguros (GALINDO *et al.*, 2019; SILVA *et al.*, 2017; SILVA, 2014).

Deter o conhecimento do volume e da maneira adequada de aplicação de adubos na agricultura é uma tarefa imprescindível para otimizar a produtividade e mitigar riscos ambientais. A carência de conhecimento técnico nas práticas de adubação pode resultar na elevação de nutrientes para níveis tóxicos ao solo e à planta ou, ainda, causar a chamada adubação de luxo (consumo de nutrientes acima do necessário ou recomendado a planta) (CAVALCANTI *et al.*, 2008). Nesse sentido, o uso do EET, com o apelo de insumo de adubação em fertirrigação, constitui uma temática deveras incipiente no que tange ao manejo adequado ante a cultura, seja nos aspectos que envolvem o volume, a qualidade e a quantidade do EET ou, ainda, no procedimento de aplicação. Além dos mencionados riscos ambientais, o reuso do EET deve se restringir à aplicação direta no solo para evitar possíveis dispersões do líquido pela ação do vento.

Alguns trabalhos têm se concentrado no desenvolvimento de métodos funcionais para aplicação do EET em processos agrícolas (ABREU, 2019; SILVA, 2014). Contudo, eles não reúnem ou não constituem um arcabouço prático, simples, algorítmicamente implementável e acessível ao seu público de interesse (pequeno produtor) visando alavancar a agricultura familiar e de pequena escala, além de apresentarem um escopo genérico e pouco previsível diante de múltiplas condições práticas que envolvem o cultivo (solo-planta) e a produção e qualidade do EET. Por isso, este trabalho propõe um método agregador simples e algorítmicamente estruturado para viabilizar a implementação de um sistema de recomendações exequível em dispositivos móveis e/ou aplicações Web (*Web apps*) e, assim, ampliar o uso do EET como biofertilizante (fertirrigação) para cultivo de milho em pequenas propriedades rurais, assentamentos e nichos específicos da agricultura familiar. A proposta considera as multicondições de produção de EET e de campo (solo e cultivar) e se pauta por cálculos aproximados do volume de EET em relação à área de cultivo do milho e na técnica de irrigação por sulcos, assim como nas recomendações de calagem e adubação preconizadas pelo Boletim 100 (IAC) (CANTARELLA *et al.*, 2022).

2. Revisão da literatura

A utilização da fossa séptica biodigestora é uma forma de realizar o tratamento de esgoto residencial para saneamento e descarte seguro, constituindo uma solução aplicável em residências rurais. No Brasil, vários municípios não possuem a coleta e tratamento de efluentes de esgoto (CABRAL, 2020). A biodigestão de esgoto residencial se apresenta como alternativa para mitigar contaminações de águas subterrâneas e superficiais, reduzindo riscos ambientais e de saúde pública.

A fossa séptica biodigestora geralmente proporciona um tratamento adequado quando comparado à fossa rudimentar, apresentando melhores resultados em muitos quesitos. No entanto, o EET produzido ainda pode apresentar riscos se descartado diretamente em corpos d'água, uma vez que contém altos teores de nitrogênio, fósforo, potássio e outros (SILVA, 2014; PEREIRA *et al.*, 2018). Por outro lado, esses componentes podem ser reaproveitados na adubação de plantas para fins de suplementação nutricional, oferecendo um destino nobre ao uso do EET (SILVA, 2014; PEREIRA *et al.*, 2018).

A adubação é uma das atividades mais importantes na agricultura, pois busca proporcionar melhores condições nutricionais ao desenvolvimento das plantas, alterando as características químicas do solo. Para sua realização, é imprescindível atenção à fertilidade do solo, à cultivar e a outras intercorrências que podem afetar a planta e a absorção de nutrientes. A análise do solo e o conhecimento do manejo de adubação são imprescindíveis (BATISTA *et al.*, 2018). Recomendações consolidadas para aplicação de adubação estão amplamente difundidas em publicações técnicas, fornecendo valores referenciais de acordo com as composições químicas e físicas do solo, sendo geralmente disponibilizadas por estados ou regiões específicas do país (CAVALCANTI *et al.*, 2008; CANTARELLA *et al.*, 2022).

O uso do EET como biofertilizante demanda acesso ao seu valor nutricional e volume de aplicação para otimização do reuso na agronomia. Estimativas à quantidade de EET encontram base metodológica na Equação 1, a qual utiliza a concentração de nitrogênio para estimar a quantidade a ser aplicada por unidade de área (m²). Essa estimativa foi desenvolvida para suprir a demanda de nitrogênio, elemento de interesse agrícola mais abundante entre os nutrientes presentes no EET. Em média, os valores contidos são de 0,4 g de nitrogênio total por litro de EET, 0,05 g de fósforo total por litro e 0,1 g de potássio total por litro (GALINDO *et al.*, 2019). No entanto, em alguns estudos esses valores médios podem variar, como no caso de Pereira *et al.* (2018), no qual foi obtido 0,19 g de nitrogênio total por litro.

$$T_{biofert} = \frac{DNit}{10 \times CNit_{biofert}} \quad (1)$$

Onde: $T_{biofert}$ = Quantidade de efluente a ser utilizada como fertilizante, em litros por metro quadrado;
 $DNit$ = Quantidade de nitrogênio recomendado para ser aplicado na área, em quilos por hectare;
 $CNit_{biofert}$ = Concentração de nitrogênio total presente na efluente tratada, em gramas por litro.

A eficácia da aplicação do EET para fins agrícolas pode ser confirmada em alguns trabalhos como, por exemplo, em Abreu *et al.* (2022) e Macedo *et al.* (2022). Em Abreu *et al.* (2022) compararam a utilização do EET por fossa séptica biodigestora por meio da

irrigação por sulcos fechados em combinações com adubação mineral de N, P e K no cultivo de milho. Eles observaram que, para diversas características, incluindo a produção de grãos em kg/ha, a adubação mineral foi superior ao uso do EET e do EET com adição de PK. (Figura 1). No entanto, os autores concluíram que a utilização do EET com adição de PK é a opção mais adequada, uma vez que a combinação foi capaz de obter níveis satisfatórios de produção, aumentar a matéria orgânica e melhorar alguns atributos químicos do solo. Tais achados corroboram o uso do EET como alternativa viável para pequenos produtores e agricultores familiares que tenham restrições ao acesso de adubos minerais ou, simplesmente, àqueles que desejam reaproveitar o efluente de sistemas biodigestores em processos agrícolas.



Figura 1: Diferenças entre espigas de milho produzidas no experimento de Abreu *et al.* (2022) sendo usada a adubação mineral (NPK), EET mais fosforo e potássio (EfPK), apenas EET (Ef) e apenas potássio e fósforo (PK).

Note-se, nos experimentos de Abreu *et al.* (2022), que a fertirrigação de EET por sulcos fechados para atender a demanda de NPK (nitrogênio, fósforo e potássio) é significativa para suprir nitrogênio; enquanto potássio e o fósforo oriundos do EET podem não ser suficientes para maximizar a produção de milho.

3. Materiais e métodos

O desenvolvimento de método capaz de atender as multicondições inerentes à realidade de campo para recomendação de adubação com EET foi balizado pelo Boletim 100 -“Recomendação de adubação e calagem para o estado de São Paulo” (CANTARELLA *et al.*, 2022) e pela equação (Equação 1) de estimativa da quantidade de efluente de Galindo *et al.* (2019). Adicionalmente, o trabalho de Silva (2014) foi utilizado para balizar estimativas de valores médios de NPK presentes no EET em um cenário restritivo à qualificação dos referidos analitos presentes.

O processo de decisão multicondicional para os cálculos e recomendação do volume de EET foi avalizado por comparação com os resultados de adubação mineral constantes no Boletim 100 (CANTARELLA *et al.*, 2022), verificando a identidade da recomendação total de nutrientes, assim como por comparação com os resultados de análise de solo (Tabela 1) obtidos por Abreu (2019), checando a aproximação ou igualdade dos valores da recomendação. Assim, foi selecionada a recomendação para milho grão com a produção entre 10 a 12 toneladas por hectares.

Tabela 1: Análise de solo oriunda do trabalho de Abreu (2019).

pH	P	Al ³⁺	H ⁺ + Al ³⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V
----	---	------------------	-----------------------------------	----------------	------------------	------------------	---

$CaCl_2$	$mg.dm^{-3}$	----- $mmol.e.dm^{-3}$ -----					%
5,1	9,5	0,75	26,75	2,71	21,75	10,25	56,58

Onde: P = Fósforo, Ph = Potencial hidrogeniônico; Al^{3+} = Alumínio; $H^+ + Al^{3+}$ = Hidrogênio mais alumínio; K^+ = Potássio; Ca^{2+} = Cálcio; Mg^{2+} = Magnésio; V = Saturação por base.

Um dos principais fatores limitantes ao uso EET como fertilizante é a quantidade produzida (volume disponível) por unidade de instalação. Por isso, optou-se por estimar a área máxima de adubação em função da quantidade de EET disponível, em oposição ao cálculo típico sobre a demanda de EET para adubar uma área. A área mínima viável para realizar adubação foi ajustada para 100 m². Valores médios e/ou estimativas obtidas na literatura foram utilizados para balizar as condições reais de carência de análises do solo e/ou do EET (valores médios de nitrogênio, fósforo e potássio). A estimativa da área máxima de aplicação foi calculada conforme disposto na Equação 2. A quantidade de EET disponível também se pauta por valores médios, considerando que cada morador produz em média 200 litros de EET a cada 10 dias (GALINDO *et al.*, 2019).

$$At = \frac{Qfd_{10 \text{ dias}}}{T_{biofert}} \quad (2)$$

Onde: At = Área total, em metros quadrados; $Qfd_{10 \text{ dias}}$ = Quantidade de efluente disponível a cada 10 dias, em litros; $T_{biofert}$ = Quantidade de efluente a ser utilizada como fertilizante, em litros por metro quadrado.

Como cultivares, foram escolhidos o milho safrinha, grão e silagem, que constam no *Boletim 100*. Um fluxo multicondições foi elaborado para representar os possíveis cenários e, a partir dele, um sistema de recomendação de adubação com EET foi desenvolvido em *Python* com auxílio da plataforma *Anvil*® (MYERS, 2023). Os requisitos funcionais que balizaram o desenvolvimento do *software* foram: simplicidade, acessibilidade, rapidez, oferta de materiais didáticos de referência e de informações simplificadas (incluindo vídeos explicativos).

4. Resultados e simulações

Conforme disposto no diagrama (Figura 2), a escolha da cultura constitui etapa fundamental às estimativas, assim como do cenário em que o usuário dispõe de análises de solo e do EET. Na ausência da análise do solo, valores médios de recomendação de nitrogênio, fósforo e potássio, oriundas do *Boletim 100* (CANTARELLA *et al.*, 2022), são tomados ante uma produção de até 6 t/ha, ou seja, 60 kg por 100 m². A restrição imposta à produtividade visa minimizar riscos associados à aplicação inadequada de adubos. Ante a ausência da análise do EET, valores médios são balizados pelas estimativas de Galindo *et al.* (2019). Embora o método promova margem de segurança às aplicações, é altamente recomendável a realização periódica de análises de solo e do EET para minimizar riscos e aumentar a precisão e rendimento do método.

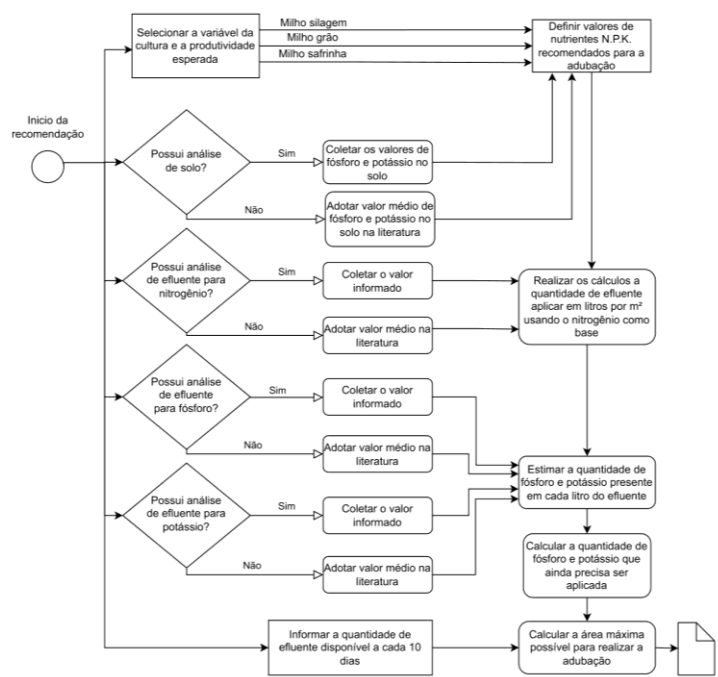


Figura 2: Diagrama de fluxo das multicondições para estimativas e recomendações de EET em fertirrigação.

O parcelamento da região de cultivo é recomendado a fim de ampliar a área de aplicação após a semeadura, assim como para adubação de cobertura em 2 a 3 vezes. Essas recomendações visam maximizar o volume de EET e a área total considerando uma produção de EET estimada em 200 litros/pessoa em 10 dias (GALINDO *et al.*, 2019).

A análise teórica do método de recomendação ante a condição de ausência da análise de solo se mostra segura e conservadora para a quantidade de nitrogênio, uma vez a produtividade está estabelecida para uma produção de até 6 t/ha, conforme previsto no Boletim 100 (CANTARELLA *et al.*, 2022). Por outro lado, a produtividade poderá apresentar resultado aquém do esperado se fósforo e potássio não forem ofertados nas faixas de 16 a 40 mg/dm³ e 1,6 a 3 mmol/dm³, respectivamente.

Na condição de carência de análise do EET e conseqüente estimativa por valores médios dos referidos nutrientes, é provável que os resultados de rendimento das culturas também sejam díspares do esperado. Devido à baixa disponibilidade de fósforo e potássio no EET para cultivo de milho, é recomendada uma adubação mineral complementar de P e K, tendo eficiência de produção menor se utilizado somente o efluente, conforme constatado por Abreu *et al.* (2022).

As simulações de multicondições de campo e cultivo, balizadas pelo experimento de Abreu (2019), resultaram em recomendações de nutrientes similares àquelas constantes no Boletim 100 (CANTARELLA *et al.*, 2022), com resultados ligeiramente inferiores para potássio e fósforo e superiores para o nitrogênio, como apresentado na tabela 2. Tais diferenças são esperadas dada que os métodos possuem estruturas de cálculos ligeiramente diferentes.

Tabela 2: Comparativos dos resultados da recomendação gerada e do experimento de Abreu (2019).

Experimento	N	EET _p + P ₂ O ₅	EET _k + K ₂ O	EET
	----- kg/ha -----			L/m ²
Abreu (2019)	135	2,8 + 118,2	27,1 + 106,2	40
Simulação do método	140	2,9 + 107,1	27,67 + 62,33	44

Onde: N = Nitrogênio; P₂O₅ = Pentóxido de fósforo; K₂O = Óxido de potássio; EET = Efluente de esgoto Tratado.

5. Conclusão

O método de recomendação desenvolvido para lidar com múltiplas condições do manejo de fertirrigação com EET por fossa séptica biodigestora para cultivo de milho está pautado por literatura técnica consolidada (Boletim 100) e experimentos agrônômicos recentes. A proposição de uma abordagem algorítmica para lidar com múltiplas condições traz como principal benefício a praticidade de implementação de um sistema de recomendação de adubação e reuso do EET, mantendo o baixo custo, inerente à demanda de seu nicho de aplicação, o compromisso ambiental e, principalmente, a garantia de sua exequibilidade em dispositivos móveis, a exemplo do aplicativo responsivo (web app) desenvolvido no escopo deste trabalho (O sistema desenvolvido está disponível para avaliação no sítio: <https://agro-efluente.anvil.app>) (BASSOI *et al.*, 2023). Consolida-se, portanto, como uma ferramenta decisória promissora para complementação de adubação com águas residuárias de fossas biodigestoras rurais. Os trabalhos em andamento na Embrapa Instrumentação já pleiteiam o uso da referida ferramenta digital para validação finalística da metodologia em experimentos com milho em assentamentos, pequenas propriedades rurais (agricultura familiar) e outros locais dotados de sistemas biodigestores em plena operação.

Referências

- ABREU, P. A. S. **Irrigação por sulcos com efluente de Fossa Séptica Biodigestora como fonte de nitrogênio na cultura do milho**. 2019. 128 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2019.
- ABREU, P. A. S.; COSTA, B. R. S.; OLDONI, H.; SILVA, W. T. L.; BASSOI, L. H. Corn crop responds positively to fertigation with black water from sewage treated by decentralized anaerobic system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, 2022.
- BASSOI, L. H.; SILVA, W. T. L.; FERREIRA, E. J.; QUARESMA, L. A. T.; EMBRAPA INSTRUMENTAÇÃO. **Agro-Efluente**: Adubação com efluente tratado por fossa septica biodigestora. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://agro-efluente.anvil.app>. Acesso em: 29 jul. 2023.
- BATISTA, M. A.; INOUE, T. T.; ESPER NETO, M.; MUNIZ, A. S.. Princípios de fertilidade do solo, adubação e nutrição mineral. In: BRANDÃO FILHO, J. U. T.; FREITAS, P. S. L.; BERIAN, L. O. S.; GOTO, R., (org.). **Hortaliças-fruto**. [S. l.: s. n.], 2018. cap. 4, p. 113-162. ISBN 978-65-86383-01-0.
- CABRAL, U. Quatro em cada dez municípios não têm serviço de esgoto no país. **Agência IBGE notícias**, [S. l.], p. 1, 22 jul. 2020. Disponível em: <https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-noticias/2012-agencia-de->

noticias/noticias/28326-quatro-em-cada-dez-municipios-nao-tem-servico-de-esgoto-no-pais. Acesso em: 29 jun. 2023.

CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; MATTOS JUNIOR, D.; BOARETTO, R. M.; RAIJ, B. V. (ed.). **Boletim 100: Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agrônômico, 2022. ISBN 978-65-88414-09-5.

CAVALCANTI, F. J. A. (COORD.); SANTOS, J. C. P. JOSÉ; PEREIRA, J. R.; PEREIRA LEITE, JOSÉ; SILVA, M. C. L.; FREIRE, F. J.; SILVA, D. J.; SOUSA, A. R.; MESSIAS, A. S.; BATISTA DE FARIA, C. M.; BURGOS, N.; LIMA JÚNIOR, M. A.; GOMES, R. V.; CAVALCANTI, A. C.; LIMA, J. F. W. F. (ed.), **recomendações de adubação para o estado de Pernambuco: 2º Aproximação**. 2. ed. Recife - Pernambuco: [s. n.], 2008. ISBN 978-85-60827-01-5.

GALINDO, N.; SILVA, W. T. L. da; NOVAES, A. P. de; GODOY, L. A. de; SOARES, M. T. S.; GALVANI, F.; MARMO, C. R.; ROMERO, P. A. L. **Perguntas e Respostas: Fossa Séptica Biodigestora Edição revisada e ampliada**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2019.

MACEDO, G. C.; MARQUES, R. B.; BARBOSA, J. S.; CRUZ, A. M. M.; BARILLI, J.; SIEBENEICHLER, S. C. INFLUÊNCIA DO USO DE BIOESTIMULANTES NO CRESCIMENTO DE MUDAS DE *Khaya senegalensis* A. JUSS. **Revista Agri-Environmental Sciences**, Palmas - TO, v. 8, 2022.

MYERS, B. Announcing the New Anvil Editor: Build Python Web Apps with Even More Power and Flexibility. **Anvil Blog**, [s. l.], 2023. Disponível em: <https://anvil.works/blog/new-editor-release>. Acesso em: 19 jun. 2023.

PEREIRA, M. A. B.; BESSA, N. G. F.; FREITAS, G. A.; ANTONIO, J. S. S. C.; SANTOS, C. M. Eficiência de fossa séptica biodigestora no tratamento de esgoto doméstico no assentamento Vale Verde Tocantins. **Tecnologia e Ciências Agropecuárias**, [s. l.], v. 12, n. 1, 2018.

SILVA, W. T. L. da. Sistemas biológicos simplificados aplicados ao Saneamento Básico Rural. In: NAIME, J. de M.; MATTOSO, L. H. C.; SILVA, W. T. L. da; CRUVINEL, P. E.; MARTIN-NETO, L.; CRESTANA, S. (ed.). **Conceitos e aplicações da instrumentação para o avanço da agricultura**. 1. ed. Brasília, DF: Embrapa Instrumentação, 2014. cap. 6, p. 177 - 2010. ISBN 978-85-7035-429-7.

SILVA, W. T. L. da; MARMO, C. R.; LEONEL, L. F. **Memorial Descritivo: Montagem e Operação da Fossa Séptica Biodigestora**. São Carlos, SP: Embrapa Instrumentação, 2017.