

SANEAMENTO RURAL: PESQUISA DE OPINIÃO E PROPOSIÇÃO DE TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO E ANIMAL EM UMA PROPRIEDADE RURAL

RURAL SANITATION: OPINION RESEARCH AND TECHNOLOGY PROPOSALS FOR THE TREATMENT OF RESIDENTIAL AND ANIMAL SEWAGE ON A RURAL PROPERTY

Letícia Oliveira Silva^a, Vinicius Cândido Xavier^a, Alana Gandra Lima de Moura^a, Rodrigo Soares Garcia Silva^a, Carla Eloísa Diniz dos Santos^a

^aUniversidade Federal do Triângulo Mineiro / UFTM

leticia.osle@gmail.com, viniciuscx1@hotmail.com, alanamou@hotmail.com, rodrigo.silva@uftm.edu.br, carla.santos@uftm.edu.br

Submissão: 05 de abril de 2023

Aceitação: 21 de junho de 2023

Resumo

O Saneamento Básico no Brasil é um direito de todos, entretanto, nem toda a população tem acesso à água potável, coleta e tratamento adequado do esgoto sanitário, coleta e manejo de resíduos sólidos e infraestrutura de drenagem pluvial. No ambiente rural, a precariedade desses serviços é ainda mais evidente. Neste contexto, os sistemas descentralizados de tratamento de esgoto sanitário apresentam-se como alternativas viáveis para fomentar a melhoria do saneamento rural no Brasil. Nesse contexto, um dos objetivos deste trabalho foi realizar uma entrevista semi-sistemática (25 questões sobre água, efluente e resíduos) com proprietários rurais do município de Luz – MG para mapear as condições de saneamento básico rural. Adicionalmente, foram dimensionados biodigestores e fossa séptica seguida de fossa verde para tratamento de efluentes animal e doméstico, respectivamente, de uma fazenda do município, atrelando o dimensionamento ao estudo da viabilidade energética dessas alternativas de tratamento. Na pesquisa de opinião, observou-se a necessidade de conscientização dos proprietários rurais acerca da implementação tratamento de esgoto adequado, da potabilidade da água consumida e do descarte correto dos resíduos sólidos. Para o estudo de caso da fazenda, três biodigestores (68 m³ cada) foram dimensionados para o tratamento do rejeito animal, com produção de 866,41 m³ de biogás/mês. Já para o tratamento do esgoto doméstico, dimensionou-se fossa séptica (volume útil de 1,4 m³) seguida de fossa verde (9,2 m³). Desta forma, a conscientização da população associada à apresentação de alternativas tecnológicas de saneamento é uma forma efetiva de melhorar o índice brasileiro de saneamento na área rural.

Palavras chaves: Biodigestor; Tratamento de Esgoto Descentralizado; Consulta aos produtores rurais; Fossa Verde.

Abstract

Basic sanitation in Brazil is a right for all; however, not all of the population has access to potable water, proper collection and treatment of sanitary sewage, solid waste collection and management, and stormwater drainage infrastructure. In rural areas, the inadequacy of these services is even more evident. In this context, decentralized systems for sanitary sewage treatment are presented as viable alternatives to promote the improvement of rural sanitation in Brazil. Within this context, one of the objectives of this study was to conduct a semi-systematic interview (25 questions about water, effluent, and waste) with rural landowners in the municipality of Luz - MG to map the conditions of rural basic sanitation. Additionally, biodigesters and septic tanks followed by vegetated filter beds were dimensioned for the treatment of animal and domestic effluents, respectively, on a farm in the municipality. The sizing of these systems was linked to the study of their energy feasibility. In the opinion survey, the need for raising awareness among rural landowners regarding the implementation of proper sewage treatment, potability of consumed water, and correct disposal of solid waste was observed. For the farm case study, three biodigesters (68 m³ each) were dimensioned for the treatment of animal waste, resulting in a biogas production of 866.41 m³ per month. As for the domestic sewage

treatment, a septic tank (with a useful volume of 1.4 m³) followed by a vegetated filter bed (9.2 m³) was sized. Therefore, raising public awareness combined with the presentation of technological alternatives for sanitation is an effective way to improve the Brazilian rural sanitation index.

Keywords: Biodigesters; Decentralized sewage treatment; Farmers perceptions; Vegetated filter bed.

1 INTRODUÇÃO

Saneamento básico é o “[...] conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, limpeza urbana, manejo de resíduos sólidos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas” (BRASIL, 2007; BRASIL, 2020). As diretrizes da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) explicitam ainda que o saneamento básico é um direito fundamental de toda a população. No entanto, segundo o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS), em 2021, apenas 64,1% do esgoto coletado em áreas urbanas foi direcionado para tratamento adequado (BRASIL, 2022). Quando se analisa o saneamento em ambientes rurais os desafios são ainda maiores (REZENDE; HELLER, 2008, TONETTI *et al.*, 2018, ROLAND; HELLER; REZENDE, 2022). De acordo com o Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR), em 2018, apenas 30,7% da população rural possuía rede coletora ou fossa séptica (BRASIL, 2019). Roland, Heller e Rezende (2022) pontuaram que as principais fragilidades para efetiva melhoria do saneamento rural no Brasil são: organização institucional para estabelecimento de políticas públicas, planejamento financeiro e de investimentos, participação da comunidade, desenvolvimento de recursos humanos e tecnologias.

Todos os envolvidos devem ser protagonistas no planejamento, execução e gestão de ações que devem ser territorializadas e adaptadas às realidades locais para suprir essa deficiência de saneamento rural (MACHADO, MACIEL, THIOLENT, 2021; ROLAND, HELLER, REZENDE, 2022). A participação comunitária prevê a educação ambiental da população rural acerca da importância do saneamento para a garantia de saúde e preservação do meio ambiente. O viés de tecnologia, por sua vez, versa principalmente para a ampliação do uso de sistemas de tratamento descentralizados para esgoto doméstico, efluentes animais e resíduos sólidos produzidos nas propriedades rurais. Tais tecnologias têm respaldo técnico e são viáveis

economicamente, diminuindo o impacto poluente ao meio ambiente e melhorando a qualidade de vida da população (LOPES, 2018; TONETTI *et al.*, 2018).

Uma dessas alternativas é o biodigestor, uma câmara fechada na qual ocorre a digestão anaeróbia, ou seja, a conversão da matéria orgânica em lodo biológico e biogás, sendo o efluente líquido final, rico em nutrientes, passível de ser utilizado como biofertilizante. O biogás é coletado em um gasômetro e pode ser reaproveitado para geração de energia ou uso como gás de cozinha (SILVA *et al.*, 2018, TONETTI *et al.*, 2018). Existem diversos modelos de biodigestor em uso no Brasil, dentre eles o do tipo canadense, o qual consiste em uma lagoa coberta com lona. A fossa séptica é um dos sistemas mais antigos de tratamento, amplamente adotada no Brasil, podendo ser chamada de tanque séptico ou decanto-digestor. É um reator anaeróbio cuja função é reter e degradar os sólidos sedimentáveis e flutuantes, entretanto por ser mais aplicado a tratamento de esgoto doméstico, não apresenta viabilidade de aproveitamento do biogás (TONETTI *et al.*, 2018; LOPES, 2018). No Brasil, a fossa séptica é normatizada pela NBR 7229 (ABNT, 1993). A fossa verde é uma técnica de saneamento ecológico que alia a presença de plantas, com grande potencial de evapotranspiração, ao tratamento biológico oriundo do metabolismo de bactérias anaeróbias que vivem na zona de raízes, produzindo pouca quantidade de lodo e gerando pouco ou nenhum efluente final, o qual pode ser direcionado por tubulação de drenagem (COELHO; REINHARDT; ARAÚJO, 2018; FIGUEIREDO *et al.*, 2019).

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi realizar uma pesquisa de opinião para entender como é o saneamento básico em algumas propriedades rurais do município de Luz-MG e o conhecimento dos proprietários sobre a importância do saneamento básico para saúde e preservação ambiental. Além disso, como estudo de caso, dimensionaram-se biodigestores para o tratamento dos rejeitos animais e um sistema combinado de fossa séptica seguida por fossa verde para o tratamento do esgoto doméstico

produzido na casa sede da Fazenda Roraima, propriedade rural de Luz-MG. Ao final do dimensionamento estimou-se a produção energética dos biodigestores vislumbrando apresentar sua viabilidade econômica de aplicação.

2 METODOLOGIA

2.1 Caracterização do município de estudo e da pesquisa de opinião

O município de Luz pertence à região centro-oeste do estado de Minas Gerais, localizado na BR 262 entre Belo Horizonte e a região do Triângulo Mineiro (LUZ, 2012). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), Luz possui uma área de 1.172 km² (IBGE, 2010). Em 2010, a população era formada por 15.709 habitantes na área urbana e 1.777 na área rural. A principal atividade econômica é a agropecuária (LUZ, 2012). O município está localizado na bacia hidrográfica do Alto São Francisco.

A pesquisa de opinião consistiu na aplicação de questionário com 25 questões (formato múltipla escolha), de caráter quali-quantitativo, a 18 proprietários rurais do município. A aplicação da pesquisa de opinião contou com apoio da Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMATER) do Estado de Minas Gerais, a qual forneceu o contato desses produtores rurais. O questionário foi previamente apreciado no Comitê de Ética em Pesquisa (CEP) da Universidade Federal do Triângulo Mineiro (UFTM), obtendo código de aprovação CAAE 48205421.9.000.5154.

2.2 Caracterização da propriedade rural de estudo

Os dimensionamentos das alternativas descentralizadas de tratamento foram realizados considerando-se as vazões de efluentes doméstico e animal da Fazenda Roraima (latitude 19,781423495227042 e longitude 45,74184335768223), que pertence ao município de Luz. A Fazenda Roraima possui um poço artesiano para abastecimento de água (120 m de profundidade). A água coletada é encanada e distribuída na propriedade (residências, usos agrícolas e pecuária). Nos pontos de consumo humano, a água é filtrada em filtros de cerâmica antes da ingestão.

O esgoto doméstico gerado na sede é tratado em fossa séptica e os rejeitos produzidos pelos animais são tratados em uma fossa rudimentar,

localizadas cerca de 200 m e 50 m do poço artesiano da propriedade, respectivamente. O lodo da fossa rudimentar é coletado uma vez ao mês (por caminhão limpa fossa) e posteriormente aproveitado como adubo na propriedade. Apesar da fossa séptica e da fossa rudimentar estarem dispostas em locais que atendem às distâncias horizontais mínimas do poço artesiano recomendadas pela NBR 7229 (ABNT, 1993), as alternativas de tratamento descentralizado, que serão tratadas neste trabalho, permitirão uma melhoria ambiental no manejo dos efluentes e, portanto, poderão ser consideradas futuramente para substituir as estruturas já existentes.

2.3 Dimensionamento das alternativas de tratamento

2.3.1 Biodigestor Canadense

Visto que a área de produção pecuária fica distante da casa sede, optou-se por propor sistemas de tratamento individualizados para o esgoto doméstico e os dejetos animais. Para o tratamento dos dejetos animais, a alternativa escolhida foi o biodigestor canadense, uma vez que o local possui boa incidência de sol e significativo volume de dejetos oriundo das atividades pecuárias. O dimensionamento iniciou-se com o volume útil do biodigestor (Equação 1). A vazão de dejetos (Q_D) depende da origem da matéria orgânica e do número de animais (Tabela 1).

$$V_B = TDH \times Q_D \quad (1)$$

Em que:

V_B = Volume útil do biodigestor (L);

TDH = Tempo de detenção hidráulica (30 dias);

Q_D = Vazão de dejetos (L/dia)

A partir da definição do volume útil do biodigestor, calcularam-se os demais parâmetros de dimensionamento utilizando as equações apresentadas no Quadro 1.

2.3.2 Fossa séptica e fossa verde

De acordo com a NBR 7229 (ABNT, 1993), que dispõe sobre projeto, construção e operação de sistema de tanques sépticos, é recomendado que a fossa séptica receba uma unidade de tratamento complementar a jusante. Dessa forma, neste trabalho, propõem-se a combinação da fossa séptica com a fossa verde para o tratamento do esgoto doméstico gerado na casa sede da

Fazenda Roraima. O dimensionamento iniciou-se pela determinação do volume útil (Equação 13) e todos os parâmetros de projeto adotados foram

aqueles recomendados pela NBR 7229 (ABNT, 1993).

Tabela 1 - Fatores importantes para o cálculo da vazão total de dejetos animais (Q_D).

Animal	Massa de esterco por animal (kg/dia)	Quantidade de Animais	Total de Esterco (kg/dia)	Relação esterco/água	Volume de água (L)	Vazão de dejetos (L/dia)
	A	B	C = AxB	D (kg/L)	E = CxD	F = C+E
Caprino/ovino	0,5			1:4 ou 1:55		
Vaca	7			1:1		
Vaca Leiteira	25			1:1		
Bezerro	2			1:1		
Boi	15			1:1		
Porco	4			1:1,3		

Fonte: adaptado de Oliver *et. al* (2008)

Quadro 1 - Equações e parâmetros utilizados para dimensionamento do biodigestor.

Equações	Número	Descrição
$P = C = 2 * \pi * r$	2	P = Perímetro total transversal (campana mais tanque) (m) C = Circunferência da campana r = raio da campana (m)
$A\% = 0,621p^2 - 0,042p + 0,352$	3	$A\%$ = Porcentagem de perímetro transversal destinado ao arco. p = Proporção da fase gasosa desejada ($p \leq 0,4$)
$b = \left(-\frac{1}{3} * A\% + \frac{1}{3} \right) * P$	4	b = Lateral, base ou largura menor do tanque (m) P = Perímetro total transversal (m)
$a = 1,618b$	5	a = largura maior do tanque (m) b = Lateral, base ou largura menor do tanque (m)
$h = 0,951b$	6	h = profundidade do tanque (m) b = Lateral, base ou largura menor do tanque (m)
$Af = 0,4775 * (a + b) * b$	7	Af = Área transversal do tanque (m ²) a = largura maior do tanque (m) b = Lateral, base ou largura menor do tanque (m)
$At = \frac{Af}{1 - p}$	8	At = Área total transversal ou área transversal do tanque mais área transversal da campana (m ²) p = Proporção da fase gasosa desejada
$Ag = At - Af$	9	Ag = Área transversal da campana ou área destinada para o armazenamento do biogás (m ²)
$Vt = At * L$	10	Vt = Volume total do biodigestor (campana mais tanque) (m ³) L = Comprimento do biodigestor (valor inicial adotado) (m)
$Vf = Af * L$	11	Vf = Volume total do tanque (m ³) L = Comprimento do biodigestor (valor inicial adotado) (m)
$Vg = Ag * L$	12	Vg = Volume total do gás (m ³) L = Comprimento do biodigestor (valor inicial adotado) (m)

Fonte: adaptado de Ribeiro (2011).

$$V = 1000 + (n \times C \times TDH) + (K \times L_F) \quad (13)$$

V = Volume útil (L);

n = Número de pessoas ou unidades de contribuição;

C = Contribuição per capita de esgoto (L/hab.dia);

TDH = Tempo de detenção hidráulica (dias);

K = Taxa de acumulação de lodo digerido (dias);

L_f = Contribuição de lodo fresco (L/hab.dia)

Os valores dos parâmetros de projeto adotados foram: n = 3 habitantes; C = 100 L/hab.dia, TDH = 1 dia, K = 97 dias; L_f = 1 L/hab.dia. Além disso, considerou-se que as medidas internas da fossa séptica de formato prismático retangular seguem as seguintes diretrizes (ABNT, 1993):

- profundidade útil: variação em função do volume;
- diâmetro interno mínimo: 1,10 m;
- largura interna mínima: 0,80 m;
- relação comprimento/largura: mínimo 2:1; máximo 4:1.

Para o dimensionamento da fossa verde calculou-se primeiramente a área superficial (Equação 14) e o volume interno, considerando-se formato de paralelepípedo (Equação 15), (FIGUEIREDO *et. al.*, 2018).

$$A = 2 \times n \quad (14)$$

$$V = A \times h \quad (15)$$

Em que:

A = Área superficial do tanque de evapotranspiração (m²);

n = Número de usuários do sistema.

V = Volume interno do tanque de evapotranspiração (m³);

h = Altura do tanque (m) - variando entre 1 e 1,5 m.

A fossa verde receberá o esgoto proveniente da fossa séptica; dessa forma, somou-se ao volume interno da fossa verde o volume da fossa séptica e recalculou-se a área utilizando o volume total (Equação 16).

$$A = \frac{\text{Volume Total}}{\text{Altura do tanque (h)}} \quad (16)$$

2.3.3 Viabilidade energética do biogás produzido no biodigestor

Com vistas a demonstrar o potencial de aproveitamento energético do biogás produzido nos biodigestores propostos para tratamento dos dejetos animais da Fazenda Roraima, uma estimativa da produção de energia elétrica e de gás liquefeito de petróleo (GLP) foi realizada. De acordo com Batista *et al.* (2021), primeiramente, determina-se o volume teórico de metano produzido pelo biodigestor (Equação 17).

$$VCH_4 = N \times T \times E_t \times P_B \times CH_4 \times VE^{-1} \quad (17)$$

Em que:

VCH₄ = Volume diário de metano (CH₄) produzido (m³);

N = Número de animais;

T = Tempo (dias);

E_T = Produção diária de esterco total (kg dejetos/dia)

P_B = Produção de biogás do dejetos (kg biogás/kg dejetos);

CH₄ = Concentração de metano no biogás (%);

VE⁻¹ = Volume específico do metano (valor adotado 0,670 kgCH₄/m³)

A produção diária de esterco, a produção de biogás de cada tipo de dejetos e a concentração de metano no biogás variam de acordo com o tipo de dejetos (Tabela 2). Neste trabalho, apenas o potencial de produção do biogás derivado do esterco bovino foi analisado.

Posteriormente, estimou-se o potencial médio de conversão de biogás (POT médio) em energia elétrica corrigido, levando em consideração o poder calorífico inferior (PCI) para 70% e 50% de metano e fator de correção de 25% (Equação 18), (BATISTA *et al.*, 2021). La Farge (1995) aponta que para 50% de CH₄, o valor de PCI é 4,3 kWh/m³, e para 70% de CH₄, o valor de PCI é 6 kWh/m³. Para avaliação da economia advinda da instalação do biodigestor, em termos de consumo de energia elétrica na propriedade, levou-se em consideração a tarifa paga pelo produtor rural de acordo com a Companhia Energética de Minas Gerais em 2021 (CEMIG, 2021).

$$POT \text{ médio} = \frac{PCI_{50\%} + PCI_{70\%}}{2} \times 0,25 \quad (18)$$

Tabela 2 – Potencial de conversão energética para diversos tipos de dejetos animais.

Origem do material	E_T (kg dejetos/dia)	P_B (kg biogás/kg dejetos)	CH_4 (%)
Suíno	2,25	0,062	66%
Bovino	10	0,037	60%
Equino	12	0,048	60%
Ave	0,18	0,055	60%

Fonte: adaptado por Colatto e Langer (2011).

Em seguida, calcularam-se o volume teórico do biogás ($V_{BIOGÁS\ TEÓRICO}$) (Equação 19) e o volume do biogás corrigido ($V_{BIOGÁS\ REAL}$) considerando as perdas do processo (Equação 20). A conversão de biogás para energia elétrica é dada pela Equação 21. Para que o biogás possa ser reaproveitado como GLP utilizou-se a conversão proposta por Batista *et al.* (2021), na qual 1 m³ de biogás equivale a 0,454 L de GLP. Para a avaliação da economia advinda da instalação do biodigestor, a partir do reaproveitamento do biogás em substituição ao GLP, considerou-se que um botijão de gás GLP doméstico possui volume de 31,5 L.

$$V_{BIOGÁS\ TEÓRICO} = \frac{V_{CH_4}}{CH_4} \quad (19)$$

$$V_{BIOGÁS\ REAL} = V_{BIOGÁS\ TEÓRICO} \times F_C \quad (20)$$

$$Energia\ (KWh) = V_{BIOGÁS\ REAL} \times POT\ médio\ CH_4 \quad (21)$$

Em que:

V_{CH_4} = volume de metano (m³);

CH_4 = concentração de metano no biogás (%) (Tabela 3)

F_C = fator de correção às perdas na produção (adotou-se 50%).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Pesquisa de opinião

O questionário foi aplicado a 18 proprietários rurais, mediante preenchimento do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Primeiramente foram realizadas perguntas básicas sobre a vida dos proprietários, sendo que 50% moram na área rural há mais de 10 anos. Do total de entrevistados, 66% possuem segundo grau completo ou curso

superior e 94% têm acesso à *internet*. A atividade mais desenvolvida nas propriedades foi a pecuária. Praticamente metade das propriedades desenvolviam atividades pecuárias (entre 50 e 200 animais). Em relação aos resíduos produzidos nas propriedades observou-se que 88,9% dos proprietários separam o resíduo reciclado, 83,3% encaminham os resíduos recicláveis para coleta, assim como os moradores da área urbana. Para o caso de embalagens de agrotóxicos e fertilizantes, os produtores rurais direcionam aos pontos de coleta apropriados, normalmente dispostos nas lojas onde adquiriram os produtos.

Quanto à origem da água para abastecimento das propriedades analisadas, 100% delas possuíam poço artesiano e/ou nascente. No caso das nascentes, se não estiverem protegidas com vegetação natural, podem estar expostas à contaminação advinda de descarte de resíduos sólidos e esgoto doméstico, e escoamento de drenagem pluvial (OTENIO *et al.*, 2007). Já nos aquíferos artesianos, os quais estão dispostos entre duas camadas de rocha relativamente impermeáveis, o risco de contaminação da água é menor, desde que se adotem os dispositivos de proteção recomendados pela NBR 12244 (ABNT, 2006), que trata sobre selo sanitário, laje de proteção e revestimento interno adequado. Como a maioria dos poços localizados em áreas rurais brasileiras carecem de dispositivos de proteção (COELHO *et al.*, 2017) o risco de contaminação pelas águas de escoamento superficial e pela infiltração no solo é considerável (OTENIO *et al.*, 2007).

Em 77,8% dos proprietários rurais entrevistados aplicava-se algum tipo de tratamento prévio à ingestão da água captada nos poços ou nas nascentes, sendo o filtro à vela de porcelana e recipiente de barro o mais utilizado. Rocha *et al.* (2006) constataram que o filtro à vela de porcelana e recipiente de barro também foi a alternativa de

tratamento mais adotada (67%) em residências rurais de Lavras-MG. Além das entrevistas, os autores avaliaram a qualidade da água de diferentes mananciais (subterrâneos, subsuperficiais e superficiais) utilizados para consumo doméstico, dessedentação de animais e irrigação de culturas das propriedades rurais, e observaram que 93% das amostras apresentaram número de coliformes termotolerantes acima do padrão de potabilidade. Tal fato evidenciou a necessidade da inclusão da desinfecção com cloro na rotina de tratamento adotada em propriedades rurais, mesmo aquelas que possuem captação por poços. Camargo e Paulosso (2009) monitoraram a qualidade da água de 24 poços rústicos para consumo humano em bairro com infraestrutura precária de saneamento básico de Carlinda-MT. O monitoramento foi realizado tanto em períodos chuvosos quanto em épocas de estiagem, sendo detectada contaminação fecal em todos os poços no período chuvoso (CAMARGO, PAULOSSO, 2009).

No que se refere ao esgoto doméstico produzido nas propriedades relacionadas neste estudo, a fossa rudimentar é utilizada como destinação final em 66,6%. Os 33,3% restantes utilizam como sistema de tratamento a fossa séptica. Tal observação está em consonância com estatística observada em 2019, na qual 38,3% dos moradores da área rural na região Sudeste possuíam algum destino para o esgoto, seja a conexão com a rede coletora urbana ou fossas sépticas (BRASIL, 2019). Do total de produtores entrevistados, apenas um reutiliza o esgoto tratado na fossa rudimentar, sendo normalmente aplicado diretamente no solo ou em áreas com plantação. Este tipo de destinação é comumente observado em áreas rurais (PNSR, 2018). Todos os entrevistados afirmaram que têm conhecimento sobre a importância do tratamento de esgoto para a saúde humana e para o meio ambiente. Destes, 88,9% afirmam ter conhecimento de algumas alternativas de tratamento de esgoto que permitem gerar bioenergia e cultivar alimentos. Dos entrevistados, 61,1% estão satisfeitos com o atual tratamento/destinação final do esgoto doméstico que produzem, porém 90,9% dos proprietários têm interesse em melhorar o tratamento existente (fossa rudimentar).

Em relação aos dejetos dos animais, observou-se que esses resíduos são aplicados como adubo em 50% das propriedades rurais consultadas; nas demais propriedades os dejetos são dispostos no meio ambiente sem tratamento

prévio. Curiosamente, 83,3% dos proprietários entrevistados estão satisfeitos com o atual tratamento/destinação final praticado; no entanto, 57,1% dos entrevistados têm interesse em melhorar a disposição praticada. De forma geral, observou-se que a pecuária tem grande importância econômica em boa parte das propriedades consultadas, nas quais, mediante a implantação de tratamentos alternativos, como o biodigestor, pode-se gerar o aproveitamento energético, revertendo-o em recurso financeiro para as fazendas. Além disso, é necessário a conscientização em relação à potabilidade da água consumida, pois mesmo no caso de mananciais subterrâneos e subsuperficiais é necessário acompanhamento regular das características físico-químicas e microbiológicas inerentes aos critérios de potabilidade dispostos na portaria do Ministério da Saúde nº 888 (BRASIL, 2021). Ademais, essa normativa prevê que todo sistema de abastecimento de água seja submetido ao processo de cloração, o que não foi observado em nenhuma das propriedades rurais entrevistadas. Sistemas cloradores de baixo custo já foram desenvolvidos por diversas entidades técnico-científicas e têm sido aplicados em áreas rurais de diversos municípios brasileiros (RODRIGUES, 2013; OTENIO *et al.* 2014; FUNASA, 2014).

Somado a isso, deve-se conscientizar os moradores da área rural sobre o descarte dos resíduos recicláveis, para que os proprietários saibam como separar corretamente; além de realizar a manutenção/limpeza adequada das fossas para que não comprometam a qualidade da água superficial e subterrânea. Para os resíduos orgânicos, a melhor alternativa é a disposição direta no solo, pelo método de Lages (GÜTTLER, 2019). Resíduos orgânicos são colocados sobre o solo e cobertos com matéria seca (capim) e as hortaliças são plantadas diretamente sob o composto (GÜTTLER, 2019). Sendo assim, pode-se observar que mesmo a maioria dos entrevistados possuindo acesso à informação e estando atualizados em relação às questões voltadas à sustentabilidade, eles precisam ser conscientizados sobre saneamento básico adequado em propriedades rurais. Andrade *et al.* (2021) aplicaram um questionário para análise socioambiental na área rural de Espírito Santo do Dourado-MG. Os autores concluíram que, em relação ao saneamento básico rural, é necessária a priorização de ações governamentais locais para o desenvolvimento do setor. Mulatya *et al.* (2021)

realizaram um questionário em três comunidades rurais do Quênia para avaliar a disposição dos proprietários a pagar por melhorias no saneamento rural. Os autores concluíram que o *status* socioeconômico é um dos principais determinantes da demanda por tecnologias de saneamento, e que subsídios ou a facilidade de empréstimo podem aumentar significativamente esta demanda. Neste estudo, 90,9% dos entrevistados demonstraram interesse em aprimorar a tecnologia de saneamento atual, e incentivos governamentais provavelmente melhorariam as condições de saneamento rural em Luz-MG.

3.2 Dimensionamento dos sistemas descentralizados de tratamento de esgoto

3.2.1 Biodigestor Canadense e a viabilidade energética do biogás

A vazão diária de dejetos animais a ser direcionada ao biodigestor foi de 5370 L (Tabela 1), a qual considerou a existência de 12 vacas, 82 vacas leiteiras, 118 bezerros e 21 bois (233 animais no total). A partir da vazão total de dejetos, obteve-se o volume útil de 162 m³, adotando-se TDH de 30 dias (Equação 1). Considerando a viabilidade técnica de construção de um único biodigestor de grandes dimensões, optou-se pela adoção de três biodigestores em paralelo, sendo cada um com volume útil de 54 m³. Posteriormente, utilizando as equações do Quadro 1 foi possível determinar as dimensões de cada biodigestor por meio do *software* Excel, adotando-se os seguintes valores de parâmetros de projeto: $r = 3,52$ m; p -fator = 0,2, $L = 2$ m. A Tabela 3

resume os principais resultados do dimensionamento do biodigestor.

Considerando-se a área de campana no formato semicircular, a qual armazenará o biogás, o volume total de cada biodigestor é de 68 m³. Na Figura 1 é apresentado um corte transversal do biodigestor, no qual são indicadas suas dimensões em metros.

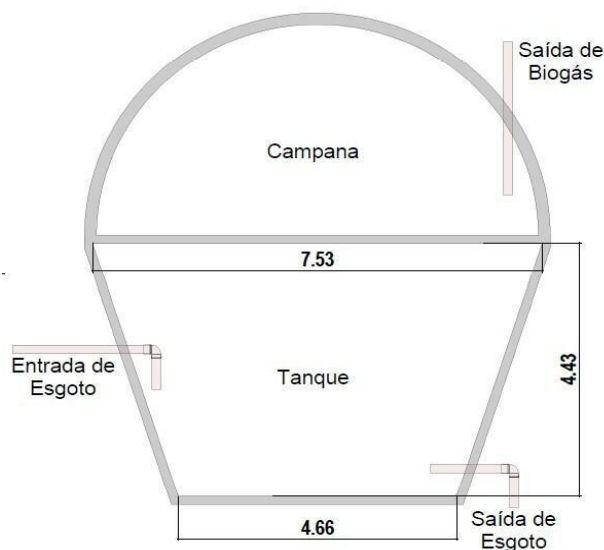
A análise da viabilidade de aproveitamento energético do biogás produzido nos biodigestores partiu da adoção de parâmetros de operação do biodigestor (TDH de 30 dias e esterco produzido por 233 animais) e de parâmetros dispostos na Tabela 2, a saber: $E_T = 10$ kg/dia, $P_B = 0,0037$ e concentração de metano no biogás de 60%. Assim, o volume diário de metano produzido foi de 1039,7 m³ (Equação 17). O potencial médio de conversão de biogás em energia elétrica corrigido (POT médio) foi de 1,2875 (Equação 18). Aplicando-se as Equações 19 e 20 estimaram-se os volumes teórico e real de biogás, que foram de 1732,82 m³ e 866,41 m³, respectivamente. O volume de biogás real foi convertido para energia elétrica (Equação 21), resultando em produção de 1115,50 KWh por mês. Para avaliação da economia advinda da instalação do biodigestor na conta de energia elétrica da propriedade, considerou-se a tarifa da bandeira verde de R\$ 0,54/Kwh, referente ao ano de 2021 (CEMIG, 2021). Dessa forma, como em um mês de operação dos biodigestores serão gerados 1115,50 Kwh de energia elétrica, essa produção poderia ser convertida em economia mensal de R\$ 606,70 na conta de energia elétrica da propriedade. Vale ressaltar que este trabalho não incluiu nesta estimativa os custos de implantação e despesas de operação do biodigestor.

Tabela 3 - Principais características construtivas do biodigestor dimensionado.

Dimensões	Descrição	Valores
P (m)	Perímetro total transversal	22,12
A%	Porcentagem de perímetro transversal destinado ao arco.	0,37
b (m)	Lateral, base ou largura menor do tanque	4,66
a (m)	largura maior do tanque	7,53
h (m)	profundidade do tanque	4,43
Af (m ²)	Área transversal do tanque	27,10
At (m ²)	Área total transversal	33,90
Ag (m ²)	Área transversal da campana	6,80
Vt (m ³)	Volume total do biodigestor	68,00
Vf (m ³)	Volume total do tanque	54,00
Vg (m ³ /dia)	Volume total do gás	13,55

Fonte: os autores (2023).

Figura 1 - Corte transversal do biodigestor Canadense e suas dimensões (em metros).



Fonte: os autores (2023).

Caso a opção seja reaproveitar o biogás como gás de cozinha, os biodigestores propostos podem proporcionar uma produção mensal de 393,35 L de GLP. Como um botijão de gás GLP doméstico possui um volume de 31,5 L, em um mês poderiam ser produzidos cerca de 12 botijões de gás. Mesmo o GLP sendo um gás que não é nocivo ao meio ambiente, ele é derivado do petróleo e a exploração do petróleo gera impactos ao meio ambiente como poluição da água, do solo e do ar. Desta forma, se todos adquirissem um GLP orgânico proveniente de dejetos animais isso iria gerar um impacto positivo ao meio ambiente. Portanto, o estudo de reaproveitamento do biogás produzido pelo tratamento dos dejetos bovinos da Fazenda Roraima mostrou-se financeiramente atrativo, uma vez que os proprietários podem alcançar economia na conta de energia elétrica e consumo/venda de GLP. É importante que as pessoas tenham consciência do uso do biogás, pois ele não deve ser tratado apenas pelo interesse econômico, deve-se levar em consideração a importância para o meio ambiente, visto que o reaproveitamento do biogás pode contribuir com a redução da emissão de CH₄ (gás de efeito estufa) na atmosfera (SANTANA *et al.*, 2020).

Por fim, ressalta-se que o efluente final do biodigestor (digestato), por ser rico em nutrientes, poderia ser direcionado para fertirrigação das culturas agrícolas da propriedade, representando mais uma vantagem econômica, por reduzir,

concomitantemente, a necessidade de adubação química e a demanda hídrica.

3.2.2 Fossa séptica e fossa verde

Considerando-se as recomendações da NBR 7229 (ABNT, 1993), o volume útil da fossa séptica destinada ao tratamento do esgoto doméstico produzido na casa sede da fazenda foi de 1,4 m³. Tal volume é direcionado para duas câmaras de formato prismático retangular (0,7 m³), dispostas em paralelo. De acordo com as diretrizes recomendadas pela NBR 7229 (ABNT, 1993), as dimensões da fossa séptica são retratadas na Tabela 4 e uma vista em planta baixa da unidade de tratamento é mostrada na Figura 2.

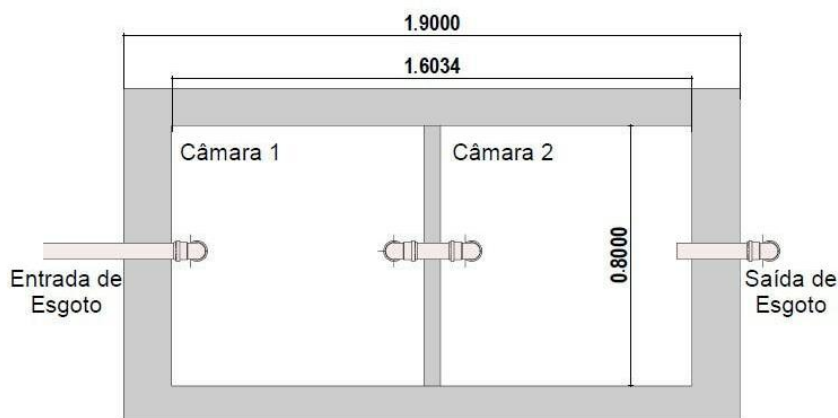
Marques, Logullo e Santos (2021) também dimensionaram uma fossa séptica para tratamento de esgoto doméstico produzido em residência rural com três habitantes. Os resultados obtidos por tais autores foram similares aos encontrados neste trabalho. Aplicando-se as Equações 15 e 16, calcularam-se a área superficial (6 m²) e o volume total da fossa verde (7,1 m³), considerando profundidade da bacia de 1,3 m. De acordo com Figueiredo *et al.* (2018) deve ser realizado o plantio das mudas para cada 1,0 m² do sistema; assim serão plantadas 7 mudas de bananas (Figura 3). A Figura 4 retrata a vista lateral do sistema combinado de tratamento do esgoto doméstico, composto por fossa séptica seguida por fossa verde.

Tabela 4 - Principais dimensões da fossa séptica dimensionada.

Parâmetros	Valores
Profundidade adotada (m)	1,2
Largura interna mínima (m)	0,8
Relação comprimento/largura	2:1
Comprimento (m)	1,6

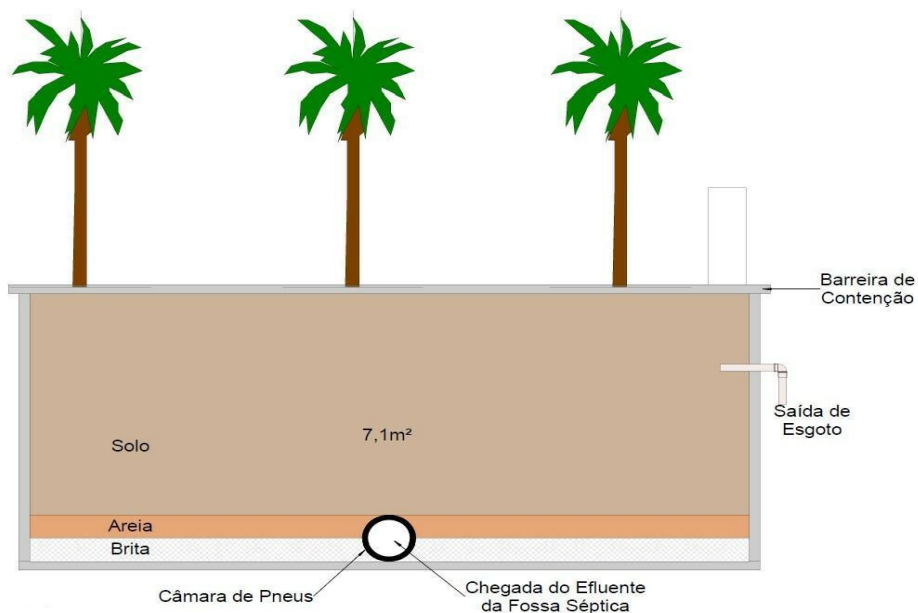
Fonte: os autores (2023).

Figura 2 - Planta baixa da fossa séptica com as suas dimensões (em metros).



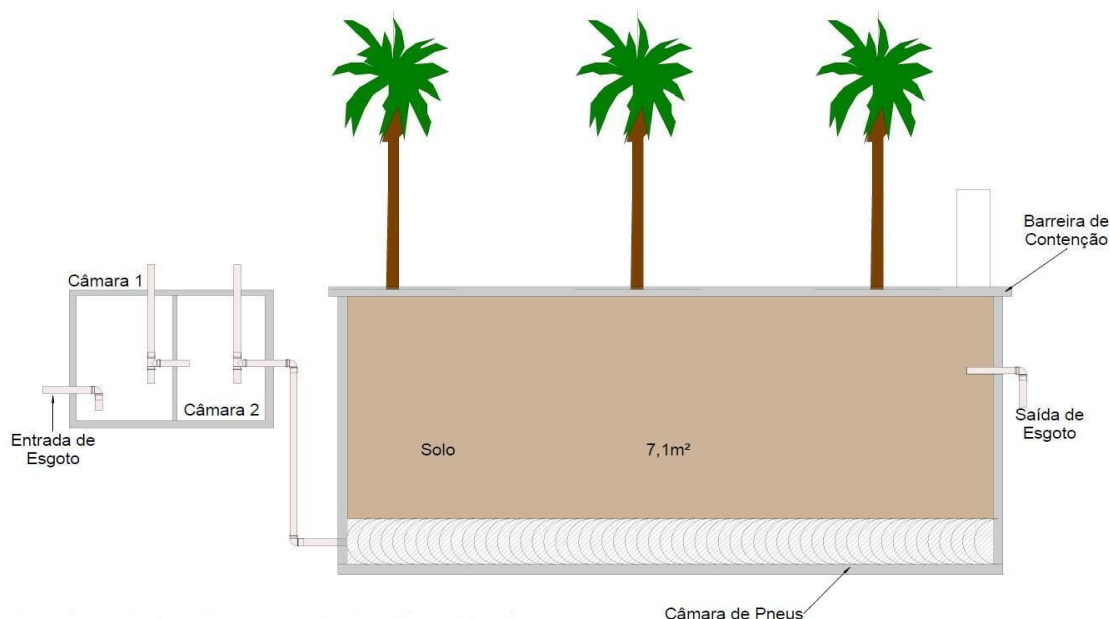
Fonte: os autores (2023).

Figura 3 – Corte transversal da estrutura da fossa verde.



Fonte: os autores (2023).

Figura 4 - Vista Lateral do sistema combinado de tratamento proposto para o tratamento do esgoto doméstico produzido na casa sede da Fazenda Roraima.



Fonte: os autores (2023).

O efluente líquido final, oriundo das duas alternativas de tratamento propostas neste trabalho (biodigestor e fossa séptica seguida da fossa verde), pode ser reutilizado na irrigação de jardins (exceto pomares e hortaliças, os quais têm seus produtos consumidos de forma crua) e na lavagem de calçamentos da propriedade. O efluente final também pode ser descartado em corpos d'água, desde que a sua qualidade esteja de acordo com a classificação dos corpos hídricos recomendada nas resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 e nº 430 (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011). Já o rejeito sólido (lodo) produzido pelo biodigestor e pela fossa séptica poderá ser aplicado no solo como adubo orgânico, atuando na melhoria da qualidade do solo, a partir do incremento do teor de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e corrigindo a acidez do solo (ALVES; PAGANINI; RIBEIRO, 2013). Antes da aplicação direta do lodo sob o solo é necessária a prévia caracterização da presença de coliformes fecais e outros microrganismos patogênicos, a qual pode ser realizada em laboratório especializado.

O efluente líquido final, oriundo das duas alternativas de tratamento propostas neste trabalho (biodigestor e fossa séptica seguida da fossa verde), pode ser reutilizado na irrigação de jardins (exceto pomares e hortaliças, os quais têm

seus produtos consumidos de forma crua) e na lavagem de calçamentos da propriedade. O efluente final também pode ser descartado em corpos d'água, desde que a sua qualidade esteja de acordo com a classificação dos corpos hídricos recomendada nas resoluções do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) nº 357 e nº 430 (BRASIL, 2005; BRASIL, 2011). Já o rejeito sólido (lodo) produzido pelo biodigestor e pela fossa séptica poderá ser aplicado no solo como adubo orgânico, atuando na melhoria da qualidade do solo, a partir do incremento do teor de nutrientes (nitrogênio e fósforo) e corrigindo a acidez do solo (ALVES; PAGANINI; RIBEIRO, 2013). Antes da aplicação direta do lodo sob o solo é necessária a prévia caracterização da presença de coliformes fecais e outros microrganismos patogênicos, a qual pode ser realizada em laboratório especializado.

4. CONCLUSÕES

É interessante que o poder público e/ou outras instituições (Universidades, ONGs, associações de produtores rurais, entre outras) realizem projeto de educação ambiental e sensibilização dos produtores rurais do município de Luz-MG, mostrando a necessidade das melhorias no saneamento básico em ambiente

rural, a saber: monitoramento da qualidade da água de poços, serviço de triagem, coleta e descarte correto dos resíduos sólidos (orgânicos, recicláveis e outros), e implantação de sistemas descentralizados de tratamento de esgoto e dejetos animais, priorizando as tecnologias anaeróbias que permitem economia por meio da geração e reaproveitamento do biogás.

No que se refere às alternativas de tratamento descentralizado investigadas neste estudo pode-se afirmar que a metodologia do dimensionamento é prática, objetiva e efetiva para empreendimentos como a Fazenda Roraima. Além disso, comparadas com outros sistemas de tratamento comumente aplicados, as tecnologias escolhidas são ótimas alternativas para propriedades rurais, visto que garantem a qualidade de vida dos moradores e preservam o meio ambiente local. Ademais, como a pecuária é uma atividade de destaque na Fazenda Roraima, o volume de biogás gerado pelo biodigestor é muito significativo, o que implica em economia real no abastecimento energético da propriedade ou reaproveitamento do biogás como gás de cozinha, fatos estes comprovados a partir do estudo de viabilidade energética executado no estudo de caso deste trabalho. Considerando a relevância da pecuária em outros locais de Minas Gerais e de outros estados, ressalta-se a importância da existência de políticas públicas concretas de incentivo à expansão de tecnologias de tratamento descentralizado de esgoto doméstico e dejetos animais no país.

REFERÊNCIAS

- ALVES, M.; PAGANINI, N.; RIBEIRO, R. Os benefícios do biodigestor em melhoria da qualidade de vida na zona rural. *In: VIII EPCC – Encontro Internacional de Produção Científica Cesumar*. 2013, Maringá. **Anais** [...] Maringá: UNICESUMAR – Centro Universitário Cesumar, 2013.
- ANDRADE, M. R.; ÁVILA, F. G.; JUNIOR, R. H. J. H.; SANTOS, M. R. Socio-environmental analysis of the rural zone of Espírito Santo do Dourado/MG: a perspective for future integration policies. **Revista Agrogeoambiental**, 13(2), 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18406/2316-1817v13n220211581>. Acesso em: 14 fev. 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7229**: Projeto, construção e operação de sistema de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993. 15 p.
- BATISTA, F. F.; ALBUQUERQUE, M. G.; MARQUES, V. C. A.; SANTOS, A. F. M. S. Estimativa da produção de biogás para geração de energia elétrica através de dejetos de animais da pecuária no Brasil. Sociedade 5.0: Educação, Ciência, Tecnologia e Amor. *In: VII COINTER PDVL - CIAGRO*. 2021, Recife. CIAGRO. Disponível em: <https://doi.org/10.31692/IICIAGRO.0236>. Acesso em: 10 dez. 2021.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/MMA/RE0357-170305.PDF>. Acesso em: 20 mai. 2023.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF, 2011. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/sophia/cnia/legislacao/CONAMA/RE0430-130511.PDF>. Acesso em: 20 mai. 2023.
- BRASIL. Portaria nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Política Nacional de Saneamento Básico. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2007. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/111445.htm. Acesso em: 20 mai. 2023.
- BRASIL. Programa Nacional de Saneamento Rural - PNSR. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. Brasília, DF, 2019. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac98-afb4ed0483eb. Acesso em: 20 mai. 2023.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2020, nº 10.768/2003, nº

11.107/2005, nº 11.445/2007, nº 12.305/2010, nº 13.089/2015, nº 13.5029/2017. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 15 de julho de 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 20 mai. 2023.

BRASIL. Ministério da Saúde - MS. Gabinete do Ministro. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 2021. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html. Acesso em: 04 jul. 2023.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2022. Brasília, DF: SNS/MDR, 2022, 82 p. Disponível: https://arquivos-snis.mdr.gov.br/REPUBLICACAO_DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2022.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

CAMARGO, M. F.; PAULOSSO, L. V. Avaliação qualitativa da contaminação microbiológica das águas de poços no município de Carlinda – MT. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 30, n. 1, p. 77-82, 2009. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/seminabio/article/view/2903>. Acesso em: 04 jul. 2023.

COELHO, S. C. et al. Monitoramento da água de poços como estratégia de avaliação sanitária em Comunidade Rural na Cidade de São Luís, MA, Brasil. **Revista Ambiente & Água**, 12(1), p. 156–167, jan. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1962>. Acesso em: 04 jul. 2023.

COELHO, C.F.; REINHARDT, H.; ARAÚJO, J.C. Fossa verde como componente de saneamento rural para a região semiárida do Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, 23(4), p. 801–810, jul. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018170077>. Acesso em: 04 jul. 2023.

COLATTO, L.; LANGER, M. Biodigestor – resíduo sólido pecuário para produção de energia. **Unoesc & Ciência - ACET**, [S. l.], v. 2, n. 2, p. 119–128, 2012. Disponível em: <https://periodicos.unoesc.edu.br/acet/article/view/738>. Acesso em: 7 mar. 2022.

COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS. **Valores de tarifas e serviços**. Companhia Energética de Minas Gerais, 2021. Disponível em: <https://www.cemig.com.br/atendimento/valores-de-tarifas-e-servicos/>. Acesso em: 16 nov. 2021.

FIGUEIREDO, I. C.S et al. Bacia de Evapotranspiração (BET): uma forma segura e ecológica de tratar o esgoto de vaso sanitário. **Revista DAE**, v. 67, n. 220, 2019. Disponível em: <http://revistadae.com.br/site/artigo/1822-Bacia-de-Evapotranspiracao-BET-uma-forma-segura-e-ecologica-de-tratar-o-esgoto-de-vaso-sanitario->. Acesso em: 04 jul. 2023.

FUNASA. **Manual de cloração de água em pequenas comunidades**. Brasília, DF: [s.n.], v., 2014. Disponível em: http://www.funasa.gov.br/site/wp-content/files_mf/manualdecloracaodeaguaempequenascomunidades.pdf. Acesso em: 21 jan. 2023.

GÜTTLER, G. **Acúmulo e perdas de nutrientes durante a compostagem de resíduos orgânicos diretamente sobre o solo com cultivo de hortaliças**. 2019. 74 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) –Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação, Lages, 2019. Disponível em: <http://sistemabu.udesc.br/pergamumweb/vinculos/000073/0000738a.pdf>. Acesso em: 24 fev. 2023.

IBGE. **Panorama das Cidades**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/luz/panorama>. Acesso em: 18 mai. 2021.

LA FARGE, B. de. **Le biogaz: procédés de fermentation méthanique**. Paris: Masson, 1995.

LOPES, A. **Tratamento descentralizado de efluentes sanitários por sistema de tanque séptico econômico seguido por tanque de evapotranspiração**. 2018. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e

Tecnologia de Minas Gerais - IFMG. Bambuí, 2018.

LUZ. **Plano Diretor Participativo de Luz Minas Gerais, 2012.** Disponível em: https://www.luz.mg.gov.br/painel/conteudo/downloads/isw_08082014-164457.pdf. Acesso em: 18 mai. 2020.

MACHADO, G. C. X. M. P.; MACIEL, T. M. F. B.; THIOLENT, M. Uma abordagem integral para Saneamento Ecológico em Comunidades Tradicionais e Rurais. **Ciência & Saúde Coletiva**. 2021. v. 26, n. 4, p. 1333-1344. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1413-81232021264.08242019>. Acesso em:

MARQUES, E. D.; LOGULLO, B.; SANTOS, C. E.D. Destinação de esgoto doméstico em propriedade rural unifamiliar: estudo de caso e proposição de alternativas de tratamento e reaproveitamento energético. **Revista Brasileira de Ciência, Tecnologia e Inovação**, v. 6, p. 13-27, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.18554/rbcti.v6i1.4401>. Acesso em: 10 dez. 2021.

MULATYA, D. M.; WERE, V.; OLEWE, J.; MBUVI, J. Willingness to pay for improvements in rural sanitation: Evidence from a cross-sectional survey of three rural counties in Kenya. **PLoS ONE** 16(5): e0248223. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0248223>. Acesso em: 15 jul. 2022.

OLIVER, A. P. M.; SOUZA NETO, A. A.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão**. Salvador: Instituto Winrock – Brasil, 2008.

OTENIO, M. H. et al. Qualidade da água utilizada para consumo humano de comunidades rurais do município de Bandeirantes-PR. **Salusvita**, Bauru, v. 26, n. 2, p. 189-195, 2007.

OTENIO, M. H. et al. **Como montar e usar o clorador de pastilhas em residências rurais: cartilhas adaptadas ao letramento do produtor**. Brasília: Embrapa, 36 p., 2014. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/116736/1/Cnpgl-2014-Cartilha-Clorador-completa.pdf>. Acesso em: 21 jan. 2023.

POLÍTICA NACIONAL DE SANEAMENTO RURAL. **Capítulo 4: Análise Situacional**. Consulta pública Programa Nacional de Saneamento Rural. 2018. Disponível em: <http://pnsr.desa.ufmg.br/consulta/>. Acesso em: 5 abr. 2022.

REZENDE, S.; HELLER, L. **O saneamento no Brasil: Políticas e interfaces**. 2 ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2008.

RIBEIRO, D. S. Determinação das dimensões de um biodigestor em função da proporção gás/fase líquida. **Revista Holos**, v. 1, ano 27, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.15628/holos.2011.269>. Acesso em: 11 nov. 2021

ROCHA, C. M. et al. Avaliação da qualidade da água e percepção higiênico-sanitária na área rural de Lavras, Minas Gerais, Brasil, 1999-2000. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, n. Cad. Saúde Pública, 22(9), 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006000900028>. Acesso em: 12 jan. 2023.

RODRIGUES, M. E. S. S. Tratamento de água: clorador de pastilha. Belo Horizonte: EMATER-MG, 2013. Disponível em: https://www.saude.pr.gov.br/sites/default/arquivos_restritos/files/documento/2020-04/cloradoremater.pdf. Acesso em: 20 mai. 2023.

ROLAND, N., HELLER, L., REZENDE, S. Assessment of the failure to implement a much-needed rural water and sanitation project in Brazil. **Water International**, 47 (3), 419-437 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/02508060.2022.2040147>. Acesso em: 12 jan. 2023.

SANTANA, M. S. A.; CARVALHO, E. C.; ANDRADE, K. S. Estudo do potencial para geração de energia a partir dos efluentes sanitários gerados no Centro Universitário Cesmac. **Diversitas Journal**, [S. l.], v. 5, n. 4, p. 2597-2607, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v5i4-1151>. Acesso em: 23 set. 2022.

SILVA, M. J. et al. Extensão Rural e tecnologia sustentável: utilização de biodigestor na agricultura familiar. **Diversitas Journal**. Santana do Ipanema/AL. vol. 3, n. 3, p.867-876, set./dez. 2018. Disponível em:

<https://doi.org/10.17648/diversitas-journal-v3i3.687>. Acesso em: 23 set. 2022.

TONETTI, A. L. et al. **Tratamento de esgotos domésticos em comunidades isoladas: referencial para a escolha de soluções.** Campinas, SP, Biblioteca/Unicamp,

2018. Disponível em:
<https://www.fecfau.unicamp.br/~saneamentorural/wp-content/uploads/2018/11/Livro-Tratamento-de-Esgotos-Dom%a9sticos-em-Comunidades-Isoladas-ilovepdf-compressed.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2023.