
GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DE BIOGÁS PROVENIENTE DE DEJETOS ANIMAIS: ESTUDO DE CASO EM UMA PEQUENA PROPRIEDADE RURAL

Leonardo Gomes Sampaio Moderno

Bruno Henrique Souza Santos

Sílvia Maria Stortini González Velázquez

Universidade Presbiteriana Mackenzie (UPM)

Resumo

A matriz elétrica brasileira é dependente de recursos hídricos e, na sua falta, da termoelectricidade, o que encarece o preço da energia elétrica. Por isso e em razão das mudanças climáticas, é necessário buscar alternativas de geração de energia a partir de fontes renováveis. A pecuária brasileira gera grande quantidade de dejetos com alto potencial de poluição dos solos, da água e da atmosfera. A biodigestão desses dejetos com aproveitamento do biogás gerado é uma alternativa para a geração de energia renovável. O presente trabalho realizou uma análise técnica, socioambiental e econômica da implantação de um biodigestor em uma pequena propriedade rural. Nas áreas rurais do Brasil, há um grande impacto na vida cotidiana das famílias residentes, causado pelo elevado custo da energia elétrica, que é provocado pelo difícil acesso a determinados locais, pelas longas distâncias, pela falta de recursos e manutenção, entre outros, que contribuem para a escassez de energia. Analisaram-se os métodos de obtenção de biogás e suas propriedades, além dos modelos de biodigestores existentes, e verificou-se qual é o mais adequado ao local disponível na propriedade. Em uma

visita técnica, foram levantados dados referentes à quantidade de animais e dejetos produzidos, além da área para instalação. Com uma produção potencial diária de 4,047 m³ de biogás, seria possível produzir 60,68 kWh mensais ou, com a equivalência energética, 55 kg de GLP, além de 5.385 kg anuais de biofertilizante. Os resultados indicam que o projeto de instalação é rentável do ponto de vista econômico e diminui o impacto ambiental, com a redução da emissão de gases poluentes, principalmente o metano.

Palavras-chave: Dejetos animais. Biodigestor. Biofertilizante.

1 INTRODUÇÃO

Nas áreas rurais do Brasil, o elevado custo da energia elétrica causa impacto na vida dos residentes (ESPERANCINI *et al.*, 2007). O difícil acesso a determinadas áreas, as longas distâncias, a falta de recursos e manutenção, entre outros fatores, contribuem para a escassez de energia, afetando o cotidiano das famílias e comunidades (DAL BEM *et al.*, 2016).

O Brasil conta com pouco mais de dez mil empreendimentos geradores de energia elétrica, e metade da eletricidade gerada no país é proveniente de usinas hidrelétricas (AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA, 2021). Essa condição se dá principalmente pela abundância de fontes hídricas aliada às políticas adotadas de implantação de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2014). A dependência de recursos hídricos provocou crises de abastecimento no Brasil em 2001 (SROUR, 2005) e em 2014 (MARENCO *et al.*, 2015), evidenciando a fragilidade da matriz elétrica brasileira.

Os custos relacionados à compra de energia são repassados de forma integral às tarifas e, conseqüentemente, ao consumidor final. O custo da energia pode sofrer variações significativas, como quando o nível dos reservatórios hidrológicos está baixo e são acionadas as usinas termelétricas (MORAES, 2018).

A pecuária brasileira é uma das atividades com maior influência econômica e socioambiental do país, sendo também uma das atividades responsáveis pelas maiores emissões de gases de efeito estufa – GEE (ANGELO; RITTL, 2019). Atividades pecuárias intensivas geram grandes volumes de dejetos por causa da alta concentração de animais confinados e utilizam grandes volumes de água na higienização de baias (PASQUALINI, 2020). Os resíduos são usados como adubo orgânico, geralmente de

forma inadequada, gerando um grande risco de poluição ambiental por causa da infiltração de nitrogênio no solo, e essa aplicação gera um acréscimo na emissão de dióxido de carbono (CO_2) e óxido nitroso (NO_x) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2020).

Além da contaminação dos solos e dos recursos hídricos, outro impacto ambiental dos dejetos é a poluição atmosférica provocada pela emissão de gases provenientes da decomposição do dejetos animal. A digestão anaeróbia dos dejetos, geralmente armazenados em esterqueiras, emite metano (CH_4) e amônia (NH_3) (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, 2020). A NH_3 pode provocar a chuva ácida, assim como problemas respiratórios aos seres humanos (GENOVA; PUCCI; SARUBBI, 2015). O CO_2 é um dos gases que causam o efeito estufa, agravando o aquecimento global, e o CH_4 é um gás 21 vezes mais impactante ao meio ambiente que o gás carbônico (LOPES; ANTONIOSI FILHO; ALVES, 2013).

O tratamento dos dejetos animais a partir de um biodigestor oferece a pequenos e médios proprietários rurais a oportunidade de gerar energia elétrica, reduzir os custos de tratamento dos dejetos, além de dar novo destino a eles, minimizando os impactos ambientais causados pela atividade pecuária, ao mesmo tempo que gera biofertilizante (DÍAZ-VASQUÉZ *et al.*, 2020).

Tendo em vista esse cenário, este trabalho tem como objetivo realizar uma análise de viabilidade técnica e econômica da utilização dos dejetos animais para geração de energia a partir do biogás, em uma pequena propriedade rural, além de apresentar os aspectos socioambientais envolvidos.

2 METODOLOGIA

Inicialmente, analisou-se, a partir da literatura disponível, a situação da matriz elétrica e da pecuária brasileira, a fim de obter informações sobre os empreendimentos geradores de eletricidade no país, em especial aqueles provenientes de resíduos animais. Foram estudados os métodos de obtenção de biogás e suas propriedades, assim como as tecnologias dos biodigestores e seus modelos. Além disso, buscaram-se na literatura métodos de geração de energia a partir do biogás e os aspectos socioambientais e econômicos envolvidos nesse tipo de geração.

Para atingir o objetivo proposto, realizou-se uma visita técnica a uma propriedade localizada na Estrada João Rosa de Miranda, situada no município de Mairiporã, em São Paulo. A propriedade é voltada para uso residencial, e o proprietário não cria os

animais para fins comerciais. Na ocasião da visita ao local de estudo, foi possível levantar os dados a respeito do volume e das características dos dejetos disponíveis, para seleção do biodigestor mais adequado e do local mais apropriado para a instalação. A partir desses dados, foi estimada a produção diária de biogás.

A Tabela 1 apresenta a quantidade de animais e de dejetos gerados por dia, por animal.

TABELA 1

Levantamento do número de animais e produção diária de dejetos

Animal	Quantidade na propriedade ¹	Dejetos por dia/animal (kg) ²	Dejetos totais/dia (kg) ¹
Aves	29	0,18	5,22
Equinos	3	10,0	30,0
Bovinos	4	10,0	40,0
Suínos	5	2,25	11,25
Total	41		86,47

Fonte: Elaborada pelos autores¹ com dados obtidos em Sganzerla (1983 *apud* GASPAR, 2003)².

Na Tabela 1, pode-se, então, observar que a propriedade alcança uma produção de, aproximadamente, 87 kg diários de dejetos, e, a partir dela, é possível fazer uma análise da produção de biogás e energia elétrica proveniente dos dejetos acumulados. A Tabela 2 apresenta o potencial de produção de biogás por tipo de animal.

TABELA 2

Equivalência em biogás dos dejetos animais

Animal	Produção de biogás (m ³ /kg)
Ave	0,055
Equino	0,048
Bovino	0,040
Suíno	0,064

Fonte: Farret (2010 *apud* JOHANN, 2012).

A partir da Tabela 2, considerando o número de animais e a quantidade de dejetos produzidos na propriedade, foi possível calcular a produção diária de biogás. A partir

desse resultado, selecionou-se o modelo do biodigestor e realizou-se o seu dimensionamento.

O biodigestor de modelo canadense foi escolhido porque apresenta tecnologia mais moderna quando comparado aos modelos chinês e indiano. Esse biodigestor é utilizado nas propriedades rurais por ser constituído majoritariamente de material plástico e possuir construção simples (JUNQUEIRA, 2014). Andrade (2001) destaca que esse modelo apresenta baixo custo de implantação e facilidade de transporte. Além disso, a construção pode ser feita diretamente sobre o terreno, com escavação pouco profunda, e o modelo é de fácil limpeza, descarga e manutenção.

O volume do biodigestor foi estimado por meio da carga diária dos dejetos e do período de retenção hidráulica (TRH), que é o tempo necessário para que ocorra a fermentação. Para o dimensionamento do volume do biodigestor, utilizou-se a Equação 1 (KUNZ; OLIVEIRA, 2008):

$$VB = VC \cdot TRH \quad (1)$$

sendo:

VB = volume do biodigestor (m³);

VC = volume de carga diária (solução de dejetos + água) (m³/dia);

TRH = tempo de retenção hidráulica (dias).

Para estimar o volume de carga diária, foram utilizados os valores dos dejetos totais da Tabela 1, com a relação de água e dejetos de 1:1 (JUNQUEIRA, 2014). Segundo Kunz e Oliveira (2008), o TRH recomendado varia de 30 a 40 dias, e, por segurança, optou-se por utilizar 40 dias.

Para determinar as principais dimensões do biodigestor, foi utilizado o modelo matemático apresentado em Ribeiro *et al.* (2011), que desenvolveram diferentes tipos de biodigestores, modelo canadense, com fossas trapezoidais, como pode ser visto na Figura 1.

Os modelos de Ribeiro *et al.* (2011) foram testados por meio de regressões utilizando os *softwares* Excel 2007 e AutoCAD 2009. As equações obtidas estão descritas no Quadro 1, e as principais dimensões do biodigestor foram apresentadas previamente na Figura 1.

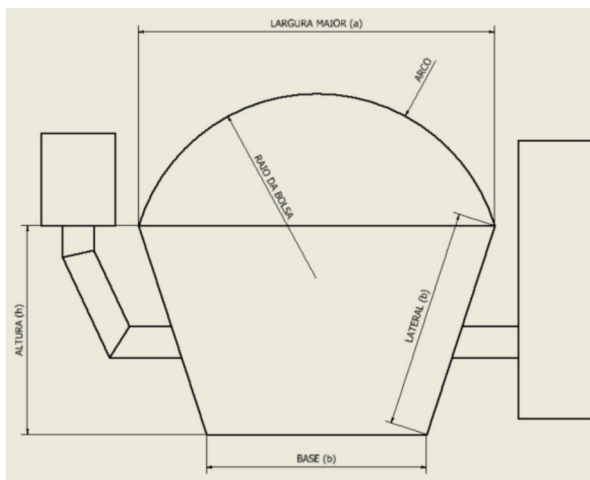


Figura 1 Seção transversal do biodigestor de modelo canadense com principais parâmetros

Fonte: Elaborada pelos autores.

QUADRO 1

Equações utilizadas para o dimensionamento do biodigestor

Equação	Descrição
$P = C + 2 \cdot r \cdot \pi$ (2)	P = perímetro total transversal (campana mais fossa) C = circunferência da bolsa r = raio da bolsa plástica
$A\% = 0,621 p^2 - 0,042 p + 0,352$ (3)	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco p = proporção da fase gasosa desejada ($p \leq 0,4$)
$b = ((-1/3) \cdot A\% + 1/3) \cdot P$ (4)	b = lateral, base ou largura menor da fossa
$a = 1,618 \cdot b$ (5)	a = largura maior da fossa
$h = 0,951 \cdot b$ (6)	h = profundidade da fossa
$A_f = 0,4755 \cdot (a+b) \cdot b$ (7)	A _f = área transversal da fossa
$A_t = A_f / (1-p)$ (8)	A _t = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana
$A_g = A_t - A_f$ (9)	A _g = área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás
$V_t = A_t \cdot L$ (10)	V _t = volume total do biodigestor (campana mais gás) L = comprimento do biodigestor
$V_f = A_f \cdot L$ (11)	V _f = volume total da fossa
$V_g = A_g \cdot L$ (12)	V _g = volume total do gás

Fonte: Ribeiro et al. (2011).

Para que fosse possível utilizar as equações de Ribeiro *et al.* (2011), foi necessário selecionar os parâmetros iniciais: o comprimento do biodigestor (L), o raio da bolsa (r) e a proporção da fase gasosa (p), este último sendo inferior ou igual a 0,4, senão, segundo esses autores, o volume da fase líquida não será suficiente para manter a câmara cheia de gás, levando o biodigestor ao colapso. Os parâmetros foram escolhidos a partir do volume estimado do biodigestor na Equação 1, a fim de se adequar à área disponível para a instalação do biodigestor.

As dimensões da caixa de entrada, que vai receber os dejetos animais, devem ter no mínimo o volume de carga diária, enquanto as dimensões da caixa de saída, onde é armazenado o biofertilizante gerado, devem ser estabelecidas para um volume de três vezes o volume de carga diária, para que o biofertilizante possa ser armazenado (JUNQUEIRA, 2014).

Segundo Junqueira (2014), a instalação de um biodigestor de modelo canadense é relativamente simples, e os materiais necessários para sua construção são: caixa de alvenaria ou fibra para caixa de entrada; manta de geotêxtil; tubulação de PVC para a entrada de dejetos e saída de biofertilizante; tubulação e conexões para a condução de biogás; caixa de alvenaria ou fibra para o armazenamento do biofertilizante (caixa de saída); válvula de alívio; filtro para biogás; e medidor de vazão.

Após o dimensionamento do biodigestor, foi selecionado o local para sua instalação, levando em consideração que essa área deve ser preferencialmente plana ou, em alguns casos, deve-se fazer a planificação da superfície, além de ser considerada como região inflamável, não sendo permitido fumar ou acender qualquer tipo de fogo na proximidade. Também deve ser cercada, de forma a evitar a entrada de animais que possam se acidentarem e/ou danificar o sistema (SILVA; SÁ, 2019).

A área escolhida para a instalação do biodigestor está localizada próximo ao curral, a fim de facilitar a coleta dos dejetos e posterior geração de energia a partir do biogás. Tal área, que pode ser vista na Figura 2, dispõe de dimensões de 5 metros de comprimento por 3 metros de largura, atendendo à área necessária para instalação do biodigestor.

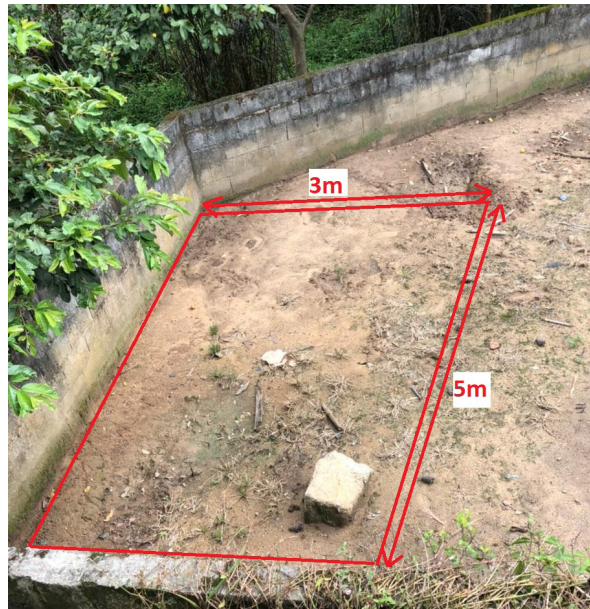


Figura 2 Local escolhido para instalação do biodigestor

Fonte: Acervo próprio.

Na seleção do conjunto motor-gerador, foi necessário determinar a potência necessária a partir da demanda elétrica da propriedade. Após esses dados, realizou-se uma conversão de kW para kVA. O fator de potência está disponível no catálogo do fabricante do motor, e, utilizando fator como 1,0, chegou-se à potência mínima para a seleção do conjunto motor-gerador.

Para dimensionar o diâmetro da tubulação para o transporte do biogás, foi necessário calcular a densidade do biogás, e, pelo fato de, assim como o gás natural, o biogás apresentar uma densidade menor que o ar atmosférico (JOHANN, 2012), utilizou-se a Equação 2 para o cálculo da densidade.

$$\rho_{biogás} = \frac{\rho_{CH_4}}{100} \cdot \%CH_4 + \frac{\rho_{CO_2}}{100} \cdot \%CO_2 \quad (2)$$

sendo:

$\rho_{biogás}$ = densidade do biogás (kg/m^3);

ρ_{CH_4} = densidade do metano (kg/m^3);

ρ_{CO_2} = densidade de dióxido de carbono (kg/m^3).

Segundo Deganutti *et al.* (2002), o biogás tem sua composição de CH₄ e CO₂ variáveis, ficando entre 60% e 80% de CH₄ e entre 20% e 30% de CO₂, respectivamente. De acordo com Çengel e Cimbala (2015), a densidade do CH₄ é de 0,716 kg/m³, enquanto a densidade do CO₂ é de 1,963 kg/m³ e a densidade do ar atmosférico é de 1,292 kg/m³, em condições normais de temperatura e pressão (CNTP).

Para o cálculo da perda de pressão do sistema, utilizou-se a Equação 14, retirada da norma NBR 15526:2012 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012).

$$\Delta P = 1,318 \cdot 10^{-2} \cdot h \cdot (S - 1) \quad (3)$$

sendo:

ΔP = variação de pressão (kPa);

h = desnível da tubulação (m);

S = densidade relativa do gás ($\rho_{\text{biogás}}/\rho_{\text{ar}}$).

Por fim, o dimensionamento do diâmetro da tubulação, segundo NBR 15526:2012 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2012), se deu pela Equação 4:

$$Q^{0,9} = 2,22 \cdot 10^{-2} \cdot \left(\frac{H \cdot D^{4,8}}{S^{0,8} \cdot L} \right)^{0,5} \quad (4)$$

sendo:

D = diâmetro da tubulação (mm);

L = comprimento do trecho da tubulação (m);

Q = vazão volumétrica de metano (Nm³/h);

H = perda de carga máxima admitida (kPa).

A quantidade de biofertilizante produzido foi calculada a partir da massa seca da massa dos dejetos, sendo assim estimada a massa de biofertilizante disponível após o processo de biodigestão. Para estimar a economia financeira dessa produção, comparou-se o valor de um saco de fertilizante agrícola de 25 kg. Os dejetos bovinos possuem uma massa seca de 16% (SILVA; SÁ, 2019), os dejetos suínos possuem 13% de massa seca (SCHERER, 2011), enquanto o percentual de massa seca dos dejetos equinos é de 20% (SANTOS, 2016), e, para aves, o percentual é de 21% (AUGUSTO, 2007).

Para fazer o orçamento inicial do projeto, consideraram-se os preços dos materiais necessários para a instalação do biodigestor, além do frete e da mão de obra. Os valores levantados foram orçados em duas empresas especializadas em venda e instalação

de biodigestores, entretanto, pesquisaram-se também os valores dos materiais vendidos diretamente no mercado.

Utilizaram-se o método do valor presente líquido (VPL) como forma de analisar a viabilidade econômica, que leva em consideração a valorização do dinheiro para estimular a rentabilidade do projeto, e o *payback*, para estimar o tempo necessário para o retorno do investimento. As equações 5 e 6 mostram como foram realizados os cálculos do VPL e do *payback*, respectivamente.

$$VPL = \sum_{n=1}^{n=N} \frac{FC}{(1+i)^n} \quad (5)$$

sendo:

VPL = valor presente líquido (R\$);

N = período;

FC = fluxo de caixa (R\$);

I = taxa de desconto.

$$Payback = \frac{Investimento\ inicial}{Ganho\ no\ período} \quad (6)$$

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Matriz elétrica brasileira

As fontes renováveis têm um papel importante na matriz elétrica do Brasil. O país possui pouco mais de dez mil empreendimentos geradores de energia, sendo predominantemente de fontes renováveis. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (2021), dos 10.250 empreendimentos, 1.516 são provenientes de geração hidráulica, responsáveis por metade da energia elétrica gerada no país.

De acordo com Rangel, Borges e Santos (2016), uma das fontes de energia mais promissoras é o biogás. Entretanto, o país apresenta apenas 15 empreendimentos que geram energia a partir da biomassa de resíduos animais, como pode ser visto na Tabela 3.

TABELA 3

Usinas de biomassa a partir de resíduos animais (RA)

Origem	UF	Tipo	Combustível Final	Qtde	Potência Outorgada (kW)
Biomassa	MT	Resíduos animais	Biogás – RA	2	2.340,00
Biomassa	SC	Resíduos animais	Biogás – RA	3	1.276,00
Biomassa	PR	Resíduos animais	Biogás – RA	6	670,00
Biomassa	MG	Resíduos animais	Biogás – RA	4	455,20
Total				15	4.741,20

Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica (2021).

3.2 Atividade pecuária brasileira

A atividade pecuária brasileira, que influencia economicamente o país, dispõe do maior rebanho bovino do mundo, com 222 milhões de animais, o que evidencia que a pecuária tem um papel importante tanto no âmbito econômico quanto em questões socioambientais (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2020), em razão da quantidade de dejetos produzida por tal atividade.

Na pecuária intensiva, o manejo indevido dos dejetos animais tem impacto direto sobre os recursos hídricos, provocando a eutrofização dos corpos d'água, alterando a biodiversidade e promovendo a proliferação de microrganismos prejudiciais ao ser humano e aos animais (ITO; GUIMARÃES; AMARAL, 2016).

Além da contaminação dos solos e recursos hídricos, os dejetos animais também contribuem para o agravamento do efeito estufa. No Brasil, verificou-se a emissão de 1,939 bilhão de toneladas brutas de GEE no ano de 2019. A atividade agropecuária domina a geração de GEE no Brasil, com 492,2 milhões de toneladas de CO₂ equivalente (ANGELO; RITTL, 2019).

3.3 Biogás

O biogás é um dos produtos da decomposição anaeróbia (decomposição sem a presença de oxigênio) da matéria orgânica, processo que acontece a partir da ação de determinadas espécies de bactérias. O biogás é composto principalmente por CH₄ e CO₂ (COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2020). Há também a presença de gás sulfídrico (H₂S), que é corrosivo e pode atacar componentes metálicos presentes no conjunto motor-gerador (ROSSETTO, 2014), e, por essa ra-

ção, é necessário instalar um filtro para eliminar esse componente do biogás antes da entrada do motor.

O principal componente do biogás é o CH_4 , representando cerca de 60% a 80% da sua composição, que é um gás incolor e altamente combustível e que contribui de forma significativa para o efeito estufa (DEGANUTTI *et al.*, 2002). Demarchi (2009) aponta que três grupos de animais somam mais de 80% das emissões globais do gás metano: os suínos contam com cerca de 40%, o gado de corte, com 20% e gado leiteiro, com 20%.

Pelo fato de a porcentagem de CH_4 presente no biogás variar, seu poder calorífico também varia, estando entre 20.920 a 29.288 kJ por metro cúbico. Deganutti *et al.* (2002) afirmam que o poder calorífico do biogás pode chegar a 50.208 kJ/m^3 , uma vez eliminado todo o CO_2 da mistura.

A energia produzida a partir do biogás é uma fonte mais acessível e adequada para a utilização em pequenas propriedades rurais, como fonte de calor para aquecimento e para cocção de alimentos (SILVA; SÁ, 2019).

É possível fazer uma comparação energética entre 1 metro cúbico de biogás com outros combustíveis usuais, chegando à equivalência descrita na Tabela 4.

TABELA 4

Comparativo energético do biogás

Combustível	Quantidade equivalente a 1 m ³ de biogás
Litro de gasolina	0,61
Litro de querosene	0,57
Litro de óleo diesel	0,55
kg de GLP	0,45
Litro de álcool combustível	0,79
kg de lenha	1,538
kWh de energia elétrica	1,428

Fonte: Deganutti *et al.* (2002).

3.4 Biodigestão anaeróbia

A biodigestão anaeróbia é o processo de degradação da biomassa residual por meio de reações bioquímicas por diferentes microrganismos que convertem compostos orgânicos complexos em compostos mais simples, sem a presença de oxigênio (BHATTI; TAO, 2020).

O processo de biodigestão anaeróbia é uma tecnologia ambiental sustentável que está sendo vista como uma alternativa para o manejo dos dejetos no setor agropecuário, em razão do grande volume de dejetos gerados (KOSTANESKI, 2018).

O componente residual do processo de biodigestão anaeróbia é o biofertilizante. Essa biomassa fermentada dentro do biodigestor sob a forma líquida é rica em material orgânico com grande potencial de fertilização. O biofertilizante melhora a estrutura e textura do solo, além de aumentar a porosidade dele, facilitando a penetração de oxigênio e de outros nutrientes nas raízes das plantas (GASPAR, 2003).

3.5 Tecnologias dos biodigestores e seus modelos

Um biodigestor compõe-se, basicamente, de uma câmara fechada na qual uma biomassa é digerida por bactérias sem a presença de oxigênio (digestão anaeróbia). Como resultado dessa fermentação, ocorrem a liberação de biogás e a produção de biofertilizante. Existem vários modelos de biodigestores, mas, de forma geral, todos são compostos de duas partes: um recipiente (tanque), para abrigar e permitir a digestão da biomassa, e o gasômetro (campânula), para armazenar o biogás (GASPAR, 2003). Os principais modelos de biodigestores são o indiano, chinês e canadense.

O modelo indiano caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou em um selo d'água externo. O modelo chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás (SILVA; SÁ, 2019).

O modelo canadense, também chamado de Modelo da Marinha, tem um padrão horizontal, e sua montagem é realizada em uma caixa de carregamento dos dejetos em alvenaria, com largura maior que sua profundidade, que proporciona maior exposição à luz solar, possibilitando uma grande produção de biogás (SILVA; SÁ, 2019). Possui uma câmara de fermentação subterrânea, uma manta superior de lona plástica para reter o biogás produzido formando uma campânula de armazenamento, além de uma caixa de saída onde o efluente é liberado (SILVA *et al.*, 2012). O biodigestor de modelo canadense pode ser visto na Figura 3.



Figura 3 Biodigestor de modelo canadense

Fonte: Silva et al. (2012).

3.6 Geração de eletricidade

A geração de energia elétrica a partir do biogás não depende de condições climáticas, o que não ocorre nas energias solar e eólica. A produção de biogás, quando operada de forma correta, é relativamente simples e não apresenta riscos aos humanos e ao meio ambiente. O uso de biogás em motores de combustão interna é prática em pequenas usinas geradoras de energia (BAGGIO, 2017).

Oliveira (2004) mostra como é possível a geração de energia elétrica a partir do biogás, partindo de um motor de combustão interna ciclo Otto, adaptado para o uso do biogás como combustível, acoplado a um gerador de eletricidade. A principal modificação de um motor a gasolina para receber o biogás como combustível é a instalação de um misturador de gás com o comburente no lugar do carburador. Outras mudanças incluem a mudança na taxa de compressão e o avanço de ignição. O motor a gasolina adaptado para receber o biogás tem rendimento aproximado de 35% (ROSSETTO, 2014).

O motor de ciclo *diesel* possui a ignição por compressão, e uma de suas vantagens é a capacidade de operar em altos níveis de compressão, permitindo que combustíveis alternativos como o biogás possam ser utilizados (BAGGIO, 2017). Para que o biogás opere como combustível em um motor *diesel*, é necessário colocar uma pequena quantidade de combustível líquido que funcione como ignição. O rendimento de conversão elétrica no motor *diesel* trabalhando com biogás gira em torno de 30” a 35% (PECORA, 2006).

3.7 Aspectos socioambientais e econômicos

Os biodigestores rurais são importantes para o saneamento rural, pois o processo de digestão anaeróbia promove a redução da carga orgânica, dos sólidos e de microrganismos patogênicos presentes nos efluentes (ANDRADE, 2001).

Com uma produção diária de 4,20 m³ de biogás, Gaspar (2003) concluiu que a implantação de um biodigestor em uma pequena propriedade rural é viável do ponto de vista socioambiental, uma vez que é capaz de reduzir o valor da conta de energia e dar um destino adequado aos dejetos, além de produzir uma quantidade considerável de biofertilizante, agregando valor ao processo e diminuindo o custeio de insumos da propriedade.

Em contrapartida, Johann (2012) verificou que a utilização do biogás como combustível na produção de energia elétrica em pequenas propriedades rurais é uma simples alternativa para a diminuição dos efeitos nocivos ao meio ambiente, além de agregar algum valor à matriz elétrica brasileira com a utilização de combustíveis renováveis. Entretanto, quando se analisa a parte econômica, como a produção do biogás é pequena, e o custo dos equipamentos, elevado, o biogás para geração de energia não é atrativo, e esses fatos contribuem para que tais sistemas não sejam utilizados em larga escala.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de biogás

Utilizando os dados das tabelas 1 e 2, é possível calcular a produção diária e mensal de biogás dentro do biodigestor, a fim de verificar o potencial de geração de energia elétrica. O resultado do cálculo da produção de biogás está descrito na Tabela 5.

TABELA 5

Produção diária de biogás

Animal	Total de dejetos (kg/dia) ¹ [A]	Produção de biogás (m ³ /kg) ² [B]	Biogás total (m ³ /dia) ¹ [A]x[B]
Aves	5,22	0,055	0,2871
Equinos	30,00	0,048	1,44
Bovinos	40,00	0,040	1,60
Suíños	11,25	0,064	0,72
Total	86,47		4,0471

Fonte: Elaborada pelos autores¹ com dados obtidos em Farret (2010 *apud* JOHANN, 2012)².

Com a produção diária de 4,0471 m³ de biogás por dia, foi possível chegar a uma produção mensal de 121,413 m³ de biogás. Utilizando os dados de equivalência energética da Tabela 4, essa produção mensal equivale a 173,37 kWh e, aproximadamente, a 55 kg de gás liquefeito de petróleo (GLP), equivalente a um pouco mais que quatro botijões. Quando se considera o rendimento de 35% na conversão do biogás em energia elétrica no motor, chega-se a uma produção de 60,68 kWh mensais.

A propriedade possui uma demanda elétrica de 222 kWh mensais evidenciando que a produção de biogás nas condições atuais não é suficiente para supri-la. Dessa forma, foi calculada a condição de ponto ótimo, em que a produção mensal de biogás é equivalente à demanda. Nessas condições, seria necessária a aquisição de mais 27 suínos para atender a essa demanda, pois o biogás gerado pelos dejetos suínos apresenta o maior poder calorífico entre os animais da propriedade (FARRET, 2010 *apud* JOHANN, 2012).

4.2 Dimensionamento do biodigestor

A propriedade possui 39 animais, descritos na Tabela 1. Sendo assim, o cálculo do volume da carga diária para o dimensionamento do biodigestor está descrito na Tabela 6.

TABELA 6

Cálculo da carga diária

Animal	Quantidade na propriedade ¹	Total de dejetos (kg/dia) ¹ [A]	Relação dejetos: água ² (kg:L)	Volume de água (m ³) ¹ [B]	Volume de carga (m ³ /dia) ¹ [A]+[B]
Aves	29	5,22	1:1	0,00522	0,01044
Equinos	3	30,00	1:1	0,0300	0,0600
Bovinos	4	40,00	1:1	0,0400	0,0800
Suínos	3	11,25	1:1	0,01125	0,0225
Total	39	86,47		0,08647	0,1729

Fonte: Elaborada pelos autores¹ com dados obtidos em Johann (2012)².

Após o cálculo da carga diária que alimentará o biodigestor, é possível estimar o volume do biodigestor utilizando a Equação 7. Optou-se por considerar um acréscimo de 10% no volume, levando em conta eventuais variações no volume de carga diária (JOHANN, 2012).

$$VB = VC \cdot TRH \cdot 1,1 \quad (7)$$

$$VB = 7,609 \text{ m}^3$$

O volume será usado como base de comparação para o cálculo das dimensões do biodigestor. A princípio, foram definidos os parâmetros iniciais raio da bolsa (r), comprimento do biodigestor (L) e proporção de fase gasosa (p), com o intuito de otimizar o espaço disponível para a instalação, e o parâmetro (p) foi adotado conforme valor máximo admitido para não colapsar o biodigestor. Os valores dos parâmetros adotados são: raio da bolsa (r) = 1,0 m; proporção de fase gasosa (p) = 0,4; comprimento do biodigestor (L) = 4,5 m.

Com os parâmetros iniciais definidos, foi possível calcular as demais dimensões do biodigestor, apresentadas no Tabela 7 e na Figura 4.

TABELA 7

Resultado do cálculo das dimensões do biodigestor

Parâmetro	Descrição	V
P	P = perímetro total transversal (campana mais fossa)	6,283 m
A%	A% = porcentagem do perímetro transversal destinado ao arco	43,45%
b	b = lateral, base ou largura menor da fossa	1,184 m
a	a = largura maior da fossa	1,916 m
H	h = profundidade da fossa	1,125 m
Af	Af = área transversal da fossa	1,745 m ²
At	At = área total transversal ou área transversal da fossa mais área transversal da campana	2,908 m ²
Ag	Ag = área transversal da campana ou área transversal destinada para o gás	1,163 m ³
Vt	Vt = volume total do biodigestor (campana mais gás)	13,086 m ³
Vf	Vf = volume total da fossa	7,852 m ³
Vg	Vg = volume total do gás	5,233 m ³

Fonte: Elaborada pelos autores.

Para dimensionar a caixa de entrada, deve-se considerar que o volume dela não pode ser menor que a carga diária (JUNQUEIRA, 2014) de 0,1729 m³. Portanto, dimensionou-se a caixa de entrada com um volume de 0,2 m³. A caixa de saída foi dimensionada com o volume de 0,6 m³. O comprimento das caixas de entrada e caixa de saída é de 1,0 m.

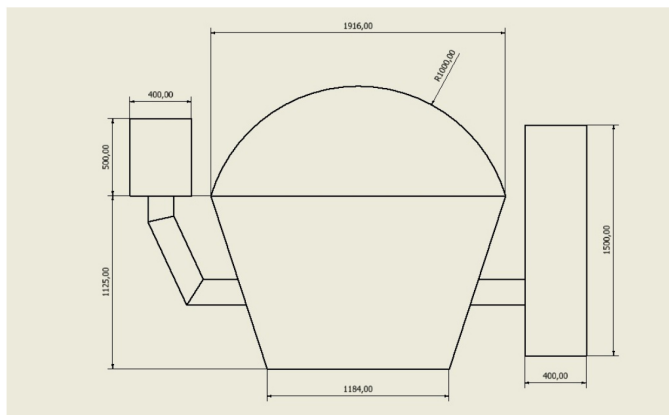


Figura 4 Principais dimensões do biodigestor

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.3 Seleção do conjunto motor-gerador

A potência requerida para suprir a demanda elétrica, que é de 222 kWh mensais, equivale a 0,308 kW ou 308 W. Utilizando 1,0 como fator de potência para geradores monofásicos (MARATO, 2021), chegou-se a uma potência mínima de 0,308 kVA. Selecionou-se um conjunto motor-gerador modelo MT950 do fabricante Marato (Figura 5), que utiliza gasolina como combustível e foi adaptado para receber o biogás.



Figura 5 Conjunto motor-gerador

Fonte: Marato (2021).

4.4 Estimativa preliminar do dimensionamento da tubulação

Para o dimensionamento da tubulação que levará o biogás do gasômetro até o conjunto motor-gerador, foram utilizadas as equações 13 a 15, considerando 80% de CH₄ e 20% de CO₂ na composição do biogás.

$$\rho_{\text{biogás}} = 0,9654 \text{ kg/m}^3$$

A densidade relativa do biogás (S) é de 0,747, calculada pela Equação 13. Dessa forma, a variação de pressão do sistema pode ser calculada pela Equação 14, considerando o desnível de altura h na propriedade como 7,0 metros.

$$\Delta P = -0,0233 \text{ kPa}$$

Por fim, o dimensionamento do diâmetro da tubulação é expresso a seguir, utilizando a Equação 15, com perda de carga admitida em 0,0209 kPa, por meio dos princípios da mecânica dos fluidos, e comprimento do trecho da tubulação de 16,05 m:

$$D = 31,38 \text{ mm}$$

4.5 Análise econômica

4.5.1 Custos de instalação

No orçamento dos custos iniciais, considerou-se o preço dos materiais necessários para a instalação do biodigestor. Os valores encontrados na Tabela 8 foram orçados em duas empresas especializadas em venda e instalação de biodigestores. Por condições comerciais e para o caso de um aumento no número de animais com consequente aumento na produção de biogás, o volume do biodigestor orçado foi de 10 m³, em vez de 7,852 m³.

TABELA 8

Orçamento inicial do projeto

Descrição	Quantidade	Valor unitário (R\$)	Valor total (R\$)
Biodigestor 10 m ³	1 un.	5.990,00	5.990,00
Válvula de alívio	1 un.	79,00	79,00
Manta de proteção para o solo	40 m ²	7,00	280,00
Purificador	1 un.	290,00	290,00
Medidor de vazão	1 un.	360,00	360,00
Balão de armazenamento	1 un.	990,00	990,00
Bomba de biogás 220V 15W	1 un.	395,00	395,00
Fogão para biogás com queimador duplo	1 un.	395,00	395,00
Tubulação (mangueira) para biogás 1 1/4" x 8m	2 un.	59,90	119,80
Tubulação para caixa de entrada e saída PVC 150 mm x 3 m	2 un.	146,00	292,00
Braçadeira 1/2"	22 un.	3,79	83,38
Luva de redução 1/4" para 1/2"	2 un.	9,15	18,30
Espigão 1/2"	1 un.	11,69	11,69
Válvula globo 1/2"	3 un.	39,90	119,70
Saco de cimento 5 kg	1 un.	16,99	16,99
Frete e mão de obra	1 un.	2.790,00	2.790,00
Conjunto motor - Marato MT950	1 un.	750,00	750,00
		Total	12.980,86

Fonte: Elaborada pelos autores.

4.5.2 Viabilidade financeira

Foram analisados dois casos, um considerando a produção de biogás convertido para energia elétrica e outro caso considerando a utilização da queima direta do biogás para cocção. O tempo de análise foi de cinco anos, que, segundo o catálogo do fabricante, é a vida útil da manta geotêxtil do biodigestor, a qual deve ser substituída após esse período. Considerou-se a taxa Selic que em 2021 estava em 3,5% a.a. São produzidos na propriedade 5.385 kg de biofertilizante anuais. O preço de um saco de fertilizante agrícola de 25 kg era de R\$ 25,00 no mercado. O ganho anual nesse cenário com a utilização do biofertilizante é de R\$ 5.385,00.

Para os cálculos, utilizaram-se o preço da energia elétrica de R\$ 0,87/kWh (ELEKTRO, 2021) e os custos anuais de manutenção do conjunto motor-gerador

estimados em R\$ 200,00. Na utilização do biogás em queima direta para aquecimento ou cocção, adotou-se a equivalência em GLP. O preço do botijão de 13 kg em Mairiporã, município onde se situa a propriedade, era em média R\$ 85,00 (ULTRAGAZ, 2021).

Dessa forma, o VPL (Equação16) calculado utilizando o biogás para geração de eletricidade foi de +R\$ 16.127,42, e o *payback* (Equação17) do projeto é de 2,23 anos. O VPL utilizando a queima direta do biogás na obtenção de energia térmica foi de +R\$ 32.438,55, e o *payback* do período é de 1,32 ano. O VPL positivo indica a rentabilidade do projeto no período de cinco anos. Os valores calculados estão de acordo com os resultados obtidos por Esperancini *et al.* (2007), que obtiveram economia de R\$ 3.698,00 anuais e um *payback* de 2,5 anos com a instalação de um biodigestor para uso domiciliar.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho apresentou uma análise técnica, econômica e socioambiental da instalação de um biodigestor em uma pequena propriedade rural. Coletaram-se dados referentes aos animais na propriedade e à quantidade de dejetos produzida diariamente, e, como consequência, calculou-se a produção de biogás e biofertilizante. Por meio da revisão da literatura, foi possível escolher o modelo do biodigestor mais adequado para a propriedade e dimensioná-lo.

De forma geral, pode-se dizer que os objetivos propostos foram alcançados, indicando que a implementação de um biodigestor em uma pequena propriedade rural é uma fonte alternativa de geração de energia elétrica e térmica. Sob a ótica socioambiental, observou-se que a utilização do biogás como combustível é menos prejudicial ao meio ambiente, ao reduzir as emissões de GEE na atmosfera, além de dar um destino adequado aos dejetos animais.

Do ponto de vista econômico, a análise de viabilidade financeira evidenciou que o projeto é rentável e que o tempo de retorno do investimento inicial é menor quando se utiliza o biogás como fonte de energia térmica, quando comparado com sua utilização para geração de energia elétrica. Pelo fato de a quantidade de animais na propriedade ser pequena, não foi possível suprir a demanda elétrica, sendo necessário que o proprietário adquira mais animais para atingir o ponto ótimo.

Entretanto, do ponto de vista socioambiental, o tratamento de efluentes evita a emissão de gás metano na atmosfera, proveniente da decomposição da matéria orgânica.

Com a gestão correta dos dejetos, deixarão de ser depositadas toneladas de esterco anualmente no solo, o que comprometeria o próprio solo, além de lençóis freáticos e mananciais próximos à propriedade.

ENERGY GENERATION FROM BIOGAS FROM ANIMAL WASTE: A CASE STUDY IN A SMALL RURAL PROPERTY

Abstract

The Brazilian electricity matrix is dependent on water resources and, in its absence, on thermoelectricity, which increases the price of electricity. For this reason and because of climate change, it is necessary to seek alternative energy generation from renewable sources. Brazilian livestock generates a large amount of waste with a high potential for soil, water, and atmospheric pollution. The biodigestion of these wastes using the generated biogas is an alternative to renewable energy generation. The present work carried out a technical, socio-environmental, and economic analysis of the implantation of a biodigester in a small rural property. In rural Brazil, there is a great impact on the daily life of resident families caused by the high cost of electricity, which is caused by difficult access to certain places, long distances, and lack of resources and maintenance, among other factors that contribute to energy shortages. The methods for obtaining biogas and its properties were made available, in addition to the existing biodigester models, to verify which is the most suitable for the location available on the property. During a technical visit, data were collected regarding the number of animals and waste needed in addition to the area for installation. With a potential daily production of 4.047 m³ of biogas, it can be possible to produce 60.68 kWh per month or, with an energy equivalence, 55 kg of LPG, in addition to 5.385 kg per year of biofertilizer. The results indicate that the installation project is profitable from an economic point of view, and the environmental impact is reduced with the reduction of polluting gas emissions, mainly methane.

Keywords: Animal waste. Biodigester. Biofertilizer.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. Sistema de informações de geração da ANEEL (SIGA): indicador de empreendimentos. 2021. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/siga>. Acesso em: 12 mar. 2021.
- ANDRADE, M. A. N. Biodigestores rurais no contexto da atual crise de energia elétrica brasileira e na perspectiva da sustentabilidade ambiental. Gestão Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina, 2001. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/030.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2021.
- ANGELO, C.; RITTL, C. *Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas do Brasil*. [S. l.]: Seeg, 2019. Disponível em: https://www.oc.eco.br/wp-content/uploads/2019/11/OC_SEEG_Relatorio_2019pdf.pdf. Acesso em: 5 nov. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 15526: redes de distribuição interna para gases combustíveis em instalações residenciais – projeto e execução*. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.
- AUGUSTO, K. *Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia*. 2007. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Campus de Jaboticabal, 2007. Disponível em: <http://jvali.fcav.unesp.br/sgcd/Home/download/pgtrabs/zoo/m/3036.pdf>. Acesso em: 4 maio 2021.
- BAGGIO, P. L. *Estudo das tecnologias existentes para geração de energia elétrica a partir do biogás*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Pato Branco, 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9533/1/PB_COELT_2017_2_22.pdf. Acesso em: 20 nov. 2020.
- BHATT, A. H.; TAO, L. Economic perspectives of biogas production via anaerobic digestion. *Bioengineering*, v. 7, n. 3, p. 74, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2306-5354/7/3/74/htm>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- ÇENGEL, Y. A.; CIMBALA, J. M. *Mecânica dos fluidos: fundamentos e aplicações*. 3. ed. Porto Alegre: AMGH, 2015.
- COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. Biogás: definição. 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/>. Acesso em: 28 out. 2020.
- DAL BEM, J. C. T. *et al.* Solução para bombeamento de água em propriedades rurais utilizando energia solar fotovoltaica. *Revista Brasileira de Energia Solar*, ano 7, v. VII, n. 1, p. 50-57. 2016.
- DEGANUTTI, R. *et al.* Biodigestores rurais: modelos indiano, chinês e batelada. 2002. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/031.pdf>. Acesso em: 27 out. 2020.
- DEMARCHI, J. J. A. A. Sustentabilidade de propriedades leiteiras através da redução das emissões de gases de efeito estufa. 2009. Disponível em: http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/sustentabilidade/index.htm. Acesso em: 27 out. 2020.

DÍAZ-VASQUÉZ, D. *et al.* Evaluation of biogas potential from livestock manures and multi-criteria site selection for centralized anaerobic digester systems: the case of Jalisco, México. *Sustainability*, v. 12, n. 9, p. 3527, Apr. 2020.

ELEKTRO. Cidades atendidas. Disponível em: <http://www.elektro.com.br/a-ELEKTRO/quem-ELEKTROcidades.html>. Acesso em: 4 mar. 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Emissões de gases de efeito estufa. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert/gee/gases-de-efeito-estufa>. Acesso em: 27 out. 2020.

ESPERANCINI, M. S. T. *et al.* Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de São Paulo. *Engenharia Agrícola*, v. 27, n. 1, p. 110-118, 2007. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/4998>. Acesso em: 3 nov. 2020.

GASPAR, R. M. B. L. *Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo- PR.* 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/85585>. Acesso em: 10 nov. 2020.

GENOVA, J. L.; PUCCI, L. E.; SARUBBI, J. Estratégias para diminuir o impacto ambiental da suinocultura. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.12, n. 1, p. 3891-3902, 2015. Disponível em: http://www.nutritime.com.br/arquivos_internos/artigos/ARTIGO290.pdf. Acesso em: 4 nov. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Estatística da produção pecuária. IBGE, 2020. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/2380/epp_2020_2tri.pdf. Acesso em: 28 out. 2020.

ITO, M.; GUIMARÃES, D.; AMARAL, G. Impactos ambientais da suinocultura: desafios e oportunidades. *Agroindústria BNDES Setorial*, v. 44, p. 125-156, 2016. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/9974/2/BS%2044%20Impactos%20ambientais%20da%20suinocultura_P.pdf. Acesso em: 28 out. 2020.

JOHANN, C. V. Dimensionamento de uma instalação para aproveitamento do biogás existente nas propriedades rurais. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Faculdade Horizontina, Horizontina, 2012. Disponível em: http://www.fahor.com.br/publicacoes/TFC/EngMec/2012/Cristian_Denis_Johann.pdf. Acesso em: 11 abr. 2021

JUNQUEIRA, S. L. *Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na Fazenda Aterrado.* 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10011533.pdf>. Acesso em: 13 jan. 2021.

KOSTANESKI, P. C. *Comparação da eficiência de lagoas de estabilização e biodigestores no manejo e tratamento de dejetos em empreendimentos da suinocultura no município de Toledo – PR.* 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2018. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/3953>. Acesso em: 21 nov. 2020.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. Uso de biodigestores para tratamento de resíduos animais. Embrapa: Suínos e Aves, 10 jun. 2008. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/444153/1/CUsersPiazzonDocuments17238.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2021.

LOPES, C. R. M.; ANTONIOSI FILHO, N. R. A.; ALVES, M. I. R. A. Impactos ambientais e sociais causados por voláteis emanados por excretos de suínos. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 9, n. 17, p. 3356-3565, 2013. Disponível em: <http://www.conhecer.org.br/enciclop/2013b/MULTIDISCIPLINAR/IMPACTOS%20AMBIENTAIS.PDF>. Acesso em: 4 nov. 2020.

MARATO. MT950 gerador portátil à gasolina, 700W, 2 tempos, certificado de SONCAP. 29 mar. 2021. Disponível em: <https://portuguese.alibaba.com/product-detail/mt950-portable-gasoline-generator-700w-2-stroke-with-ce-soncap-certificate-919651501.html>. Acesso em: 29 abr. 2021.

MARENGO, J. A. *et al.* A seca e a crise hídrica de 2014-2015 em São Paulo. *Revista USP*, n. 106, p. 31-44, set. 2015. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/110101/108684>. Acesso em: 23 nov. 2020.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Políticas de incentivo para fontes geradoras de energia sustentável. 2014. Disponível em: <http://www.mme.gov.br>. Acesso em: 28 out. 2020.

MORAES, F. *Impacto econômico das bandeiras tarifárias nos processos tarifários das distribuidoras de energia elétrica*. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Políticas Públicas e Desenvolvimento) – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, Brasília, 2018. Disponível em: http://www.mestradoprofissional.gov.br/sites/images/mestrado/turma2/felipe_augusto_cardoso_moraes.pdf. Acesso em: 15 mar. 2021.

OLIVEIRA, P. A. V. de. *Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: manual de boas práticas*. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109 p. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/443024>. Acesso em: 13 nov. 2020.

PASQUALINI, A. A. Aplicação dos biodigestores na pecuária sustentável. *Revista Faculdade do Saber*, v. 5, n. 9, p. 598-609, 2020. Disponível em: <https://rfs.emnuvens.com.br/rfs/article/view/89/68>. Acesso em: 27 out. 2020.

PECORA, V. *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: estudo de caso*. 2006. Dissertação (Mestrado em Energia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <https://www.livrosgratis.com.br/ler-livro-online-37947/implantacao-de-uma-unidade-demonstrativa-de-geracao-de-energia-eletrica-a-partir-do-biogas-de-tratamento-do-esgoto-residencial-da-usp--estudo-de-caso>. Acesso em: 30 nov. 2020.

RANGEL, M. S.; BORGES, P. B.; SANTOS, I. F. S. Análise comparativa de custos e tarifas de energias renováveis no Brasil. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 5, n. 3, p. 267-277, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Ivan_Santos9/publication/306335420_Analise_comparativa_de_custos_e_tarifas_de_energias_renovaveis_no_Brasil/links/57b8874d08ae14f440bb4aca/Analise-comparativa-de-custos-e-tarifas-de-energias-renovaveis-no-Brasil.pdf. Acesso em: 17 nov. 2020.

RIBEIRO, D. S. *et al.* Determinação das dimensões de um biodigestor em função da proporção gás/fase líquida. *Revista Holo*, ano 27, v. 1, p. 49-56, 2011. Disponível em: <https://www.redalyc.org/pdf/4815/481549214005.pdf>. Acesso em: 15 jan. 2021.

ROSSETTO, C. *Desempenho de motor-gerador ciclo Otto operado com gasolina e biogás proveniente de suinocultura e de uma estação de tratamento de esgotos*. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia Agrícola) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2014. Disponível em: <http://131.255.84.103/bitstream/tede/773/1/DissertacaoCassianoRossetto.pdf>. Acesso em: 13 maio 2021.

SANTOS, M. R. G. dos. *Produção de substratos e fertilizantes orgânicos a partir da compostagem de cama de cavalo*. 2016. Dissertação (Mestrado Profissional em Agricultura Orgânica) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016. Disponível em: <http://cursos.ufrj.br/posgraduacao/ppgao/files/2016/07/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Vers%C3%A3o-Final-Marcelo-2016.pdf>. Acesso em: 31 maio 2021.

SCHERER, E. E. Aproveitamento do esterco de suínos como fertilizante. 2011. Disponível em: http://www.cnpsa.embrapa.br/pnma/pdf_doc/9-EloiScherer.pdf. Acesso em: 31 maio 2021.

SILVA, L. N. M.; SÁ, F. L. Biodigestor em propriedades rurais: uma alternativa para confinamentos bovinos. 2019. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/4b497-silva,-l.-n.-m.-biodigestor-em-propriedades-rurais-uma-alternativa-para-confinamentos-bovinos.-tcc,-2019.pdf>. Acesso em: 10 out. 2020.

SILVA, W. T. L. *et al.* Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. *Química Nova*, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 35-40, 2012. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000100007. Acesso em: 17 out. 2020.

SROUR, S. *A reforma do estado e a crise no setor de energia elétrica: uma visão crítica do caso brasileiro*. 2005. Dissertação (Mestrado em Administração Pública e de Empresas) – Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro, 2005. Disponível em: https://bibliotecadigital.fgv.br/dspace/bitstream/handle/10438/3354/Dissertacao_Sandra.pdf. Acesso em: 20 out. 2020.

ULTRAGAZ. Preço do gás em Mairiporá. Disponível em: <https://www.telefoneultragaz.com.br/preco-do-gas/mairipora>. Acesso em: 1º jun. 2021.

Contato

Sílvia Maria Stortini González Velázquez
velazquez@mackenzie.br

Tramitação

Recebido em julho de 2021.

Aprovado em outubro de 2021.