ReGeo ISSN: 2177-3246

BALANÇO ENERGÉTICO NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM BIODIGESTORES SERTANEJOS

ENERGY BALANCE OF BIOGAS PRODUCTION IN SERTANEJO BIODIGESTERS

BALANCE ENERGÉTICO EN LA PRODUCCIÓN DE BIOGÁS EN BIODIGESTORES SERTANEJOS

https://doi.org/10.56238/revgeov17n10-204

Data de submissão: 28/09/2026 **Data de publicação:** 28/10/2026

Luiz Alberto Pinto Gondim
Lattes: http://lattes.cnpq.br/1902606141189213
E-mail: eng.lgondim@gmail.com

Augusto Fonseca Veloso
Lattes: http://lattes.cnpq.br/6262751204152155
E-mail: augustofveloso@uol.com

RESUMO

Este artigo apresenta um balanço energético da produção de biogás em Biodigestores Sertanejos destinados à cocção de alimentos em unidades familiares do Semiárido brasileiro. O cenário teórico de referência considerou uma família de três a cinco pessoas, a alimentação diária do biodigestor com 20 L de esterco bovino diluídos em igual volume de água e uma demanda energética diária para a cocção de 9,40 kWh dia^{-1}. Relacionaram-se essa demanda, o potencial energético do biogás e a quantidade de esterco necessária, comparando-se a carga calculada com a alimentação média observada nas unidades estudadas. Sob as premissas adotadas, estimaram-se 1,93 m³ de biogás e 57,96 L de esterco por dia, volume correspondente a 2,90 vezes a alimentação média de referência. O déficit estimado ajuda a explicar a manutenção do uso combinado de biogás, lenha e gás liquefeito de petróleo e evidencia uma limitação simultaneamente energética, material e operacional, pois o aumento da carga exige maior disponibilidade de biomassa e água, além de ampliar o esforço de manejo. Conclui-se que a substituição integral das fontes convencionais depende da compatibilidade entre a demanda energética, a disponibilidade contínua de dejetos e água, a capacidade hidráulica do biodigestor e as condições reais de operação, não devendo o dimensionamento basear-se apenas em uma carga diária padronizada.

Palavras-chave: Biodigestor Sertanejo. Biogás. Autossuficiência Energética. Agricultura Familiar. Semiárido Brasileiro.

ABSTRACT

This article presents an energy balance of biogas production in Sertanejo Biodigesters used for cooking in family households in the Brazilian semi-arid region. The theoretical reference scenario considered a family of three to five people, a daily biodigester input of 20 L of cattle manure diluted with an equal volume of water, and a daily cooking energy demand of 9.40 kWh day^{-1}. This demand was related to the energy potential of the biogas and the amount of manure required, and the calculated feedstock input was compared with the average input observed in the units studied. Under the adopted assumptions, the estimated daily requirements were 1.93 m³ of biogas and 57.96 L of manure, the latter corresponding to 2.90 times the reference average input. The estimated deficit helps explain the

continued combined use of biogas, firewood, and liquefied petroleum gas and reveals simultaneous energy, material, and operational constraints, since increasing the feedstock input requires greater availability of biomass and water and increases the workload associated with system operation. It is concluded that fully replacing conventional fuels depends on compatibility among energy demand, the continuous availability of manure and water, biodigester hydraulic capacity, and actual operating conditions; therefore, system sizing should not be based solely on a standardized daily feedstock input.

Keywords: Sertanejo Biodigester. Biogas. Energy Self-sufficiency. Family Farming. Brazilian Semi-arid Region.

RESUMEN

Este artículo presenta un balance energético de la producción de biogás en Biodigestores Sertanejos destinados a la cocción de alimentos en unidades familiares del Semiárido brasileño. El escenario teórico de referencia consideró una familia de tres a cinco personas, la alimentación diaria del biodigestor con 20 L de estiércol bovino diluidos en igual volumen de agua y una demanda energética diaria para la cocción de 9,40 kWh día^{-1}. Se relacionaron esa demanda, el potencial energético del biogás y la cantidad de estiércol necesaria, comparándose la carga calculada con la alimentación media observada en las unidades estudiadas. Bajo las premisas adoptadas, se estimaron 1,93 m³ de biogás y 57,96 L de estiércol por día, volumen correspondiente a 2,90 veces la alimentación media de referencia. El déficit estimado ayuda a explicar el mantenimiento del uso combinado de biogás, leña y gas licuado de petróleo y evidencia una limitación simultáneamente energética, material y operacional, pues el aumento de la carga exige mayor disponibilidad de biomasa y agua, además de ampliar el esfuerzo de manejo. Se concluye que la sustitución integral de las fuentes convencionales depende de la compatibilidad entre la demanda energética, la disponibilidad continua de residuos y agua, la capacidad hidráulica del biodigestor y las condiciones reales de operación, no debiendo el dimensionamiento basarse únicamente en una carga diaria estandarizada.

Palabras clave: Biodigestor Sertanejo. Biogás. Autosuficiencia Energética. Agricultura Familiar. Semiárido Brasileño.

1 INTRODUÇÃO

O Biodigestor Sertanejo é uma tecnologia social concebida para possibilitar aos agricultores familiares do Semiárido brasileiro a produção de biogás a partir de dejetos animais e sua utilização como fonte de energia térmica para a cocção de alimentos. Sua adoção pode reduzir a dependência do gás liquefeito de petróleo (GLP), que onera o orçamento familiar, e da lenha, cujo uso pode causar impactos à saúde e ao meio ambiente. Entretanto, a substituição dessas fontes depende da compatibilidade entre a demanda energética da família, a disponibilidade de matéria-prima e o desempenho efetivo do biodigestor.

Em razão do teor de metano (CH_4) em sua composição, o biogás apresenta poder calorífico que permite sua utilização em fogões comercializados para operar com GLP, mediante simples ajustes nos diâmetros dos orifícios dos queimadores para adequação da pressão. Após esses ajustes, sua combustão produz uma chama limpa, de coloração azul-claro, semelhante à gerada pela combustão do GLP.

Embora seja apresentado como alternativa para promover a autossuficiência energética na cozinha, o biogás produzido nos biodigestores sertanejos ainda não se consolidou como fonte exclusiva de energia para a cocção. Na maioria das unidades familiares que utilizam o biodigestor, permanece o uso combinado de biogás, lenha e/ou GLP, caracterizando um padrão de empilhamento energético. Nesse contexto, o trabalho exigido pela operação diária do sistema — incluindo a coleta, o transporte e a diluição do esterco, entre outras tarefas de manejo —, sem que os agricultores consigam prescindir dessas fontes tradicionais, reduz a atratividade do biodigestor e tem levado muitos usuários a abandonarem a tecnologia.

Diante desse contexto, este artigo teve como objetivo realizar o balanço energético da produção de biogás em Biodigestores Sertanejos, relacionando a demanda energética diária para a cocção de alimentos com o potencial energético do biogás e a quantidade de esterco necessária. Buscou-se verificar se a alimentação média adotada pelos usuários é suficiente para suprir a demanda do cenário familiar de referência e analisar as implicações energéticas, materiais e operacionais do eventual déficit, considerando a disponibilidade de esterco e água, a capacidade hidráulica do biodigestor e as condições reais de manejo. Com isso, pretendeu-se fornecer subsídios para o dimensionamento da tecnologia com base nas demandas residenciais, evitando expectativas de autossuficiência fundamentadas exclusivamente na recomendação de uma carga diária padronizada.

2 DESENVOLVIMENTO

Os procedimentos metodológicos foram delineados para analisar a relação entre a demanda térmica doméstica e o potencial energético do biogás na qualidade que vem sendo produzido. Como

cenário analítico de referência, considerou-se uma unidade familiar composta por três a cinco pessoas, cujo biodigestor é alimentado exclusivamente com esterco bovino, à razão diária de 20 litros de esterco diluídos em igual volume de água. Esse é o cenário padrão dos usuários da tecnologia e foi comprovado a partir de dados coletados em 109 unidades familiares usuárias do Biodigestor Sertanejo no Sertão pernambucano, em levantamento conduzido pelo Grupo de Pesquisa em Energia da Biomassa do Departamento de Energia Nuclear (DEN) da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), com a participação dos autores deste artigo.

O potencial energético do biogás foi expresso por seu poder calorífico inferior (PCI), estimado com base no teor de metano, principal componente combustível da mistura. Esse procedimento é compatível com metodologias de cálculo fundamentadas na composição de combustíveis gasosos (ABNT, 2023) e amplamente utilizado em estudos sobre o potencial energético do biogás e do biometano (Mito *et al.*, 2018; Okamura, 2013; Davies; Stulp, 2016).

Adotou-se teor de metano de 49,18% para o biogás produzido, valor determinado em campo pelo Grupo de Pesquisa em Energia da Biomassa do DEN/UFPE (Gondim *et al.*, 2026). Para o metano puro, considerou-se um PCI de 9,9 kWh m^{-3}, em condições normais de temperatura e pressão (SLU, 2017).

Como a demanda energética necessária ao preparo diário dos alimentos varia em função do tempo de uso do fogão, do tamanho da família e de seus hábitos alimentares, adotou-se, como hipótese conservadora, uma unidade familiar de três a cinco pessoas — configuração predominante no cenário analisado. Para essa unidade, considerou-se a necessidade do acionamento no fogão de pelo menos um dos seus queimadores rápido ou semirrápido durante cinco horas por dia, ou, de forma equivalente, de dois queimadores durante duas horas e meia por dia.

Considerando-se que os queimadores médios ou semirrápidos de fogões domésticos operam, em geral, com potência entre 1,65 e 2,10 kW, adotou-se, portanto, o valor médio de 1,88 kW como representativo dos fogões a gás utilizados pelos agricultores.

O balanço adotado comparou a energia química disponibilizada pelo combustível ao consumo nominal do queimador. Portanto, a demanda calculada representou a energia de entrada no fogão, e não a energia útil efetivamente transferida aos alimentos. As perdas associadas à combustão, à transferência de calor e às condições de uso não foram modeladas separadamente; caso a demanda fosse expressa como calor útil, deveria ser incorporada a eficiência térmica do conjunto fogão–queimador.

Com base na demanda de energia térmica do fogão, no potencial energético do biogás produzido e nos parâmetros qualitativos do esterco bovino quanto à produção de biogás — sólidos

voláteis (SV), que correspondem à fração orgânica dos sólidos passível de degradação pelos microrganismos e, portanto, relacionada à quantidade de matéria disponível para a geração de biogás, e capacidade máxima de produção de metano (B_0), que representa o volume máximo de metano que pode ser obtido por unidade de sólidos voláteis —, estimou-se a carga diária desse dejeto necessária para suprir integralmente as necessidades de calor associadas ao preparo dos alimentos.

Para caracterizar o esterco bovino, adotaram-se os valores de referência propostos pela Rede BiogásFert para dejetos provenientes de rebanhos não categorizados, aplicáveis tanto a sistemas de produção leiteira quanto de corte. A concentração de sólidos voláteis foi fixada em 74,38 g SV L^{-1}, e o potencial específico de produção de metano, em 0,22 m^3 CH_4 kg^{-1} SV (Mito *et al.*, 2018). A Rede BiogásFert, coordenada pela Embrapa e instituída no âmbito do Plano de Agricultura de Baixo Carbono (Plano ABC), reúne instituições de pesquisa dedicadas ao desenvolvimento, à adaptação e à validação de tecnologias para o tratamento de dejetos animais, com ênfase na produção de biogás e biometano em sistemas de bovinocultura e suinocultura.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram obtidos em quatro etapas encadeadas: estimativa da demanda diária de energia de entrada no fogão; conversão dessa demanda em volume de biogás e de metano; determinação da massa de sólidos voláteis necessária; e cálculo do volume de esterco correspondente. Ao final, comparou-se a carga requerida com a alimentação média de 20 L dia^{-1} observada nas unidades estudadas.

Assim, na Equação (1), "E" representa a demanda diária de energia de entrada no fogão, expressa em kWh dia^{-1}; "P" corresponde à potência nominal do queimador, expressa em kW; e "t" indica o tempo diário de funcionamento do queimador, expresso em h dia^{-1}.

$$E = P \times t = 1{,}88\ kW \times 5\ h\ dia^{-1} = 9{,}40\ kWh\ dia^{-1} \quad (1)$$

O volume diário de biogás requerido (Vbiogás) foi determinado pela razão entre a demanda térmica diária (E) e o poder calorífico inferior do biogás (PCIbiogás), conforme a Equação (2):

$$Vbiogás = (E) / (PCIbiogás) = (9{,}40\ kWh\ dia^{-1}) / (4{,}87\ kWh\ m^{-3}) = 1{,}93\ m^3\ dia^{-1} \quad (2)$$

Em seguida, o volume de metano contido no biogás (VCH_4) foi estimado pelo produto entre o volume de biogás e a fração volumétrica de metano ($\%XCH_4$), de acordo com a Equação (3):

$$VCH_4 = (Vbiogás) \times (\%XCH_4) = 1{,}93\ m^3\ dia^{-1} \times 0{,}4918 = 0{,}949\ m^3\ CH_4\ dia^{-1} \quad (3)$$

A massa diária de sólidos voláteis requerida (MSV) foi calculada pela razão entre o volume de metano necessário e o potencial específico de produção de metano adotado (B_0 = 0,22 m³ CH_4 kg^{-1} SV), como apresentado na Equação (4). Esse parâmetro deve ser interpretado como rendimento efetivamente considerado no cenário de cálculo, pois sua aplicação pressupõe que a fração biodegradável dos sólidos voláteis e as condições operacionais do biodigestor estejam representadas no valor adotado.

$$MSV = (VCH_4) / (B_0) = (0{,}949\ m^3\ CH_4\ dia^{-1}) / (0{,}22\ m^3\ CH_4\ kg^{-1}\ SV) = 4{,}31\ kg\ SV\ dia^{-1} \quad (4)$$

Por fim, a concentração média de sólidos voláteis no esterco, de 74,38 g SV L^{-1}, foi convertida para 0,07438 kg SV L^{-1}. O volume diário de esterco requerido (Vesterco) foi então calculado pela razão entre a massa de sólidos voláteis necessária e sua concentração no esterco (CSV), conforme a Equação (5):

$$Vesterco = (MSV) / (CSV) = (4{,}31\ kg\ SV\ dia^{-1}) / (0{,}07438\ kg\ SV\ L^{-1}) = 57{,}96\ L\ dia^{-1} \quad (5)$$

A relação entre o volume diário de esterco requerido e a alimentação média de 20 L dia^{-1} utilizada pelos agricultores foi obtida pela Equação (6):

$$(57{,}96\ L\ dia^{-1}) / (20\ L\ dia^{-1}) = 2{,}90 \quad (6)$$

Portanto, o volume requerido corresponde a 2,90 vezes a alimentação média diária adotada nas unidades estudadas. Em termos operacionais, a elevação da carga de 20 para 57,96 L de esterco por dia também exigiria aumento proporcional da água de diluição, além de ampliar as atividades de coleta, transporte, preparo e alimentação do biodigestor. Esse resultado indica que a limitação não é apenas energética, mas também material e operacional: a autossuficiência dependeria da disponibilidade contínua de esterco e da capacidade da família de manejar diariamente um volume de substrato quase três vezes superior ao atualmente empregado.

Os 9,40 kWh dia^{-1} representam a energia fornecida ao fogão com base na potência nominal e no tempo de utilização adotados, e não o calor efetivamente absorvido pelos alimentos. Assim, o volume calculado de 1,93 m³ de biogás por dia deve ser interpretado como uma necessidade teórica sob as premissas do balanço energético empregado. Perdas de combustão e de transferência de calor, variações na regulagem dos queimadores e diferenças nos hábitos de cocção podem alterar a demanda real.

Além disso, o valor de 0,22 m^3 CH_4 kg^{-1} SV corresponde ao potencial específico adotado no cenário de cálculo e não deve ser entendido como produção invariavelmente alcançada em campo. O rendimento efetivo pode ser menor em razão da temperatura, do tempo de retenção, da biodegradabilidade da matéria orgânica, da regularidade da alimentação, da diluição e de outras condições de operação. Nessas circunstâncias, a quantidade real de esterco necessária para atender integralmente à demanda familiar seria superior à estimada.

A estimativa também é sensível aos parâmetros de entrada. Teores mais baixos de metano, menor conversão dos sólidos voláteis ou maior potência e tempo de uso do fogão elevam a demanda de biogás e de esterco; em sentido oposto, maior concentração de sólidos voláteis e melhor desempenho do biodigestor reduzem a carga necessária. Portanto, o fator 2,90 não constitui um valor universal, mas um indicador associado ao cenário familiar e às condições de referência adotadas neste estudo.

O descompasso entre a carga calculada e a alimentação observada ajuda a explicar a permanência do uso combinado de biogás, lenha e GLP nas unidades familiares. Quando o sistema não fornece energia suficiente para toda a cocção, o trabalho exigido para sua operação diária pode superar o benefício percebido, reduzindo a atratividade da tecnologia e favorecendo seu uso parcial ou abandono. Por essa razão, o dimensionamento deve articular demanda térmica, disponibilidade local de biomassa, capacidade hidráulica do biodigestor e condições reais de manejo pelos usuários.

Por fim, os resultados devem ser interpretados considerando as limitações do cenário analisado. As estimativas referem-se a uma família de três a cinco pessoas, a um regime específico de uso do fogão e a valores médios de composição do biogás e do esterco. Como a oferta de dejetos varia ao longo do ano e o desempenho do biodigestor depende de fatores como temperatura ambiente, hábitos de cocção e condições de operação, os valores obtidos não podem ser generalizados diretamente para todas as unidades familiares. Desse modo, não se recomenda adotar uma carga diária padronizada de esterco (a exemplo de 20 L dia^{-1}). O volume de alimentação deve ser definido para cada unidade, com base na disponibilidade local de dejetos, na demanda energética da família e em sua capacidade de realizar o manejo cotidiano do sistema.

4 CONCLUSÕES

Nas condições de referência adotadas, o atendimento da demanda energética diária para a cocção em uma unidade familiar composta por três a cinco pessoas exigiria a produção de 1,93 m^3 de biogás por dia. Para alcançar esse volume, seria necessário alimentar diariamente o tanque de

fermentação do biodigestor com 58 L de esterco bovino, diluídos em igual volume de água, o que corresponde a uma alimentação quase três vezes superior aos 20 L atualmente aplicados.

A limitação identificada é simultaneamente energética, material e operacional, pois o aumento da carga também implica maior consumo de água para diluição e maior esforço nas etapas de coleta, transporte e preparo do substrato destinado à alimentação do biodigestor.

O déficit estimado ajuda a explicar a manutenção do uso combinado de biogás, lenha e GLP e indica que a substituição integral das fontes convencionais somente será viável quando houver biomassa suficiente e capacidade operacional compatível com a demanda energética. Desse modo, projetos e políticas públicas voltados ao Biodigestor Sertanejo devem priorizar dimensionamentos baseados nas demandas residenciais, evitando expectativas de autossuficiência fundamentadas na recomendação de uma carga padrão. O dimensionamento e a implantação do sistema devem considerar, conjuntamente, a demanda térmica da família, a disponibilidade contínua de dejetos e de água para a diluição, a capacidade hidráulica do biodigestor e as condições reais de manejo pelos usuários.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15213: gás natural e outros combustíveis gasosos — cálculo do poder calorífico, densidade absoluta, densidade relativa e índice de Wobbe a partir da composição. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

DAVIES, G.; STULP, S. Heating values of gaseous fuels and their application in biogas energy assessment. 2016.

GONDIM, Luiz Alberto Pinto; CORREA, Marcus Metri; SALES, Aldo Torres. Qualidade do biogás produzido em biodigestor modelo sertanejo para fins de combustão doméstica. Revista de Geopolítica, [S. l.], v. 17, n. 8, p. e3094, 2026. DOI: 10.56238/revgeov17n8-069. Disponível em: https://revistageo.com.br/revgeo/article/view/3094. Acesso em: 11 set. 2026.

MITO, Jéssica Yuki de Lima *et al.* Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2018. 52 p. (Documentos, 196). Disponível em: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1094167. Acesso em: 7 set. 2026.

OKAMURA, Layssa Aline. Avaliação e melhoria do poder calorífico de biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos. 2013. 109 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/637. Acesso em: 7 set. 2026.

SWEDISH UNIVERSITY OF AGRICULTURAL SCIENCES. Calculations: biogas production. Uppsala: SLU, 2017. Disponível em: https://slunik.slu.se/kursfiler/TN0320/20107.1718/Calculations_Biogas_production_TN0320_2017.pdf. Acesso em: 18 set. 2026.