

VIABILIDADE ECONÔMICA DA SUBSTITUIÇÃO DO GLP POR BIOGÁS ORIUNDO DE DEJETO BOVINO

ECONOMIC VIABILITY OF REPLACING LPG WITH BIOGAS FROM BOVINE MANURE

Ketlyn Jaquelize Lima Sousa

Faculdade de Informática de Ouro Preto do Oeste (FIOURO/UNEOURO), Brasil

Luan Andreani Zanatta

Faculdade de Informática de Ouro Preto do Oeste (FIOURO/UNEOURO), Brasil

Marcos Leandro Alves Nunes

Faculdade de Informática de Ouro Preto do Oeste (FIOURO/UNEOURO), Brasil

Priscila Naiara Araújo Cunha Zucov

Faculdade de Informática de Ouro Preto do Oeste (FIOURO/UNEOURO), Brasil

DOI: <https://doi.org/10.46550/ilustracao.v7i6.692>

Aceito em: 14.06.2026

Resumo: A produção de biogás por biodigestão anaeróbia constitui alternativa energética e ambiental para o aproveitamento de resíduos oriundos da bovinocultura. Este artigo, elaborado a partir de Trabalho de Conclusão de Curso, analisa a viabilidade econômica da substituição do gás liquefeito de petróleo (GLP) por biogás proveniente de dejetos bovinos, com base na construção de um biodigestor caseiro de abastecimento em batelada. O sistema experimental foi desenvolvido com bombona de 200 litros como câmara de digestão e câmara de ar aro 20 como gasômetro, utilizando materiais de baixo custo e fácil obtenção. A análise econômica considerou investimento inicial de R\$ 487,00, economia mensal estimada de R\$ 27,00, taxa mínima de atratividade de 0,5% ao mês, Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno e Payback. Os resultados indicaram VPL positivo de R\$ 1,22, TIR de 0,53% e recuperação do investimento em 18 meses e 12 dias. Conclui-se que, nas condições estudadas, a substituição do GLP por biogás é economicamente viável e ambientalmente relevante, pois contribui para o tratamento de dejetos bovinos, redução do potencial poluidor e geração descentralizada de energia renovável.

Palavras-chave: Biogás. GLP. Biodigestor. Dejetos bovinos. Viabilidade econômica.

Abstract: Biogas production through anaerobic digestion is an energy and environmental alternative for the use of cattle farming residues. This article, based on an undergraduate thesis, analyzes the economic feasibility of replacing liquefied petroleum gas (LPG) with biogas from cattle manure through the construction of a household batch-fed biodigester. The experimental system used a 200-liter plastic drum as digestion chamber and an Aro 20 inner tube as gas holder, with low-cost and easily accessible materials. The economic analysis considered an initial investment of R\$ 487.00, estimated monthly savings of R\$ 27.00, a minimum attractiveness rate of 0.5% per month, Net Present Value, Internal Rate of Return and Payback. The



results showed a positive NPV of R\$ 1.22, IRR of 0.53% and investment recovery in 18 months and 12 days. It is concluded that, under the conditions studied, replacing LPG with biogas is economically feasible and environmentally relevant, as it contributes to cattle waste treatment, reduction of polluting potential and decentralized generation of renewable energy.

Keywords: Biogas. LPG. Biodigester. Cattle manure. Economic feasibility.

1 Introdução

O biogás é resultante da decomposição anaeróbia da biomassa por ação de microrganismos fermentadores, sendo composto principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Seu aproveitamento energético tem ganhado relevância em razão da elevação dos custos dos combustíveis convencionais e da necessidade de alternativas renováveis, descentralizadas e ambientalmente adequadas. Conforme Villela e Silveira (2006), a intensificação do desenvolvimento econômico e o aumento contínuo do valor dos combustíveis estimularam a busca por fontes alternativas de energia que também contribuam para a conservação dos recursos naturais.

No contexto agropecuário, os dejetos bovinos apresentam potencial significativo para a geração de biogás, uma vez que a matéria orgânica presente nesses resíduos pode ser convertida em metano mediante digestão anaeróbia. Lucas Junior et al. (1993) observam que resíduos provenientes da criação animal já passam por processos fermentativos no trato digestivo dos ruminantes, favorecendo a atividade bacteriana quando destinados ao biodigestor. Para Lucas Junior e Santos (2000), os princípios da biodigestão vêm sendo aplicados na engenharia ambiental para tratamento de resíduos sólidos, com aproveitamento do biogás e do biofertilizante.

A utilização energética do biogás permite, simultaneamente, o aproveitamento de um resíduo e a redução de impactos ambientais. O Ministério do Meio Ambiente (2010) destaca que a queima do biogás para geração de energia evita a liberação direta de metano na atmosfera, gás com potencial poluidor superior ao dióxido de carbono em relação ao efeito estufa. Dessa forma, o biogás assume função energética e ambiental, pois reduz emissões e transforma passivos ambientais em recursos produtivos.

A pecuária, por sua vez, é reconhecida como atividade de relevante impacto ambiental quando os resíduos não recebem manejo adequado. Santos e Junior (2013) classificam a atividade pecuária como potencialmente poluidora, enquanto Doran e Linn (1979) alertam que dejetos com alta carga orgânica e patogênica podem contaminar águas superficiais e subterrâneas por escoamento ou infiltração. Downey e Moore (1977) também registram que a aplicação direta de dejetos em pastagens pode favorecer ciclos de contaminação parasitária, elevando riscos sanitários.

Diante desse cenário, a biodigestão anaeróbia apresenta-se como alternativa de tratamento e valorização dos resíduos agropecuários. Amaral et al. (2004) indicam que esse processo reduz

o potencial poluidor dos dejetos, gera biogás e possibilita o reaproveitamento do efluente como biofertilizante. Barbosa e Langer (2011) acrescentam que o uso de biodigestores em propriedades rurais promove benefícios ambientais, sociais e econômicos, especialmente pela redução de resíduos dispostos inadequadamente e pela produção de energia e fertilizantes orgânicos.

A justificativa deste estudo está associada ao aumento do custo do GLP e à possibilidade de substituição parcial ou integral desse combustível por biogás produzido em pequena escala. O GLP é amplamente utilizado em residências brasileiras para cocção de alimentos, mas constitui combustível fóssil e não renovável. Assim, o aproveitamento de dejetos bovinos para geração de biogás pode reduzir custos domésticos, diminuir a dependência de fontes fósseis e conferir destinação mais adequada a resíduos com potencial poluidor.

Este artigo tem como objetivo analisar a viabilidade econômica da substituição do GLP por biogás oriundo de dejetos bovinos, mediante a construção e avaliação de um biodigestor caseiro em batelada. Especificamente, busca-se apresentar os fundamentos técnicos da biodigestão, descrever o sistema experimental construído, discutir os indicadores econômicos adotados e avaliar os resultados obtidos a partir do investimento inicial, economia gerada e prazo de retorno do capital.

2 Fundamentação teórica

2.1 GLP e biogás como fontes energéticas

O Gás Liquefeito de Petróleo, conhecido popularmente como gás de cozinha, é composto predominantemente por hidrocarbonetos como propano e butano. Morais (2005) explica que sua utilização como combustível decorre da facilidade de armazenamento e transporte em botijões, o que favoreceu sua ampla presença no consumo residencial brasileiro, especialmente na cocção de alimentos.

Embora o GLP apresente eficiência e ampla aplicação, trata-se de fonte fóssil e não renovável. Karlsson et al. (2014) indicam que combustíveis fósseis são formados a partir da decomposição anaeróbia de matéria orgânica ao longo de períodos geológicos, sob condições de pressão e temperatura. O biogás, por sua vez, também resulta da decomposição da matéria orgânica, mas integra o ciclo contemporâneo da biomassa, permitindo o aproveitamento de energia armazenada em resíduos sem a mesma lógica de extração fóssil.

Salomon e Lora (2005) destacam que o biogás oriundo da biodigestão anaeróbia constitui fonte alternativa de energia e participa da redução de impactos ambientais vinculados a resíduos orgânicos de alto teor de demanda bioquímica de oxigênio. Gomes e Raiher (2013) acrescentam que, por ser fonte higiênica de energia, o biogás pode substituir combustíveis fósseis como o gás natural e o GLP, com a vantagem de não produzir fumaça ou resíduos significativos durante a queima.

A qualidade energética do biogás está relacionada ao seu teor de metano. Nishimura (2009) apresenta composição aproximada entre 50% e 80% de metano e 20% a 40% de dióxido de carbono, além de pequenas quantidades de hidrogênio, nitrogênio e ácido sulfídrico. Essa composição pode variar conforme o tipo de substrato, o modelo do biodigestor, a temperatura e as condições operacionais do processo.

2.2 Biodigestão anaeróbia e etapas do processo

A biodigestão é o processo de transformação de compostos orgânicos complexos em substâncias mais simples pela atividade de microrganismos em ambiente sem oxigênio. Soares et al. (2017) definem o processo como a metabolização de matéria orgânica que resulta na formação de uma mistura gasosa composta principalmente por CH_4 e CO_2 . Bueno (2010) descreve a biodigestão como consolidação biológica realizada por diferentes grupos de microrganismos, que convertem compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono.

O processo ocorre em etapas sucessivas e interdependentes: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Na hidrólise, moléculas complexas são quebradas em moléculas menores, tornando-se assimiláveis pelos microrganismos. Karlsson et al. (2014) explicam que bactérias secretam enzimas capazes de transformar proteínas em aminoácidos, carboidratos em açúcares simples e gorduras em ácidos graxos. Sotti (2014) enfatiza que a hidrólise é essencial porque os microrganismos envolvidos não assimilam diretamente matéria orgânica particulada.

Na acidogênese, os produtos da hidrólise são metabolizados por bactérias acidogênicas, formando ácidos orgânicos, álcoois, cetonas, CO_2 e hidrogênio. Chernicharo (1997) ressalta que tais produtos se tornam substratos relevantes para as bactérias acetogênicas. Em seguida, na acetogênese, as substâncias intermediárias são convertidas principalmente em ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono, etapa que exige interação adequada com os microrganismos metanogênicos (KARLSSON et al., 2014).

A metanogênese corresponde à fase final, na qual arqueas metanogênicas convertem os compostos disponíveis em metano, dióxido de carbono e água. Karlsson et al. (2014) destacam que esses microrganismos são mais sensíveis a alterações de pH, temperatura e substâncias tóxicas, razão pela qual o controle das condições operacionais é essencial para manter a produção de biogás em níveis satisfatórios.

2.3 Fatores que influenciam a produção de biogás

A produção de biogás é influenciada por fatores físico-químicos e operacionais, entre eles pH, tempo de retenção hidráulica, agitação, temperatura e proporção entre água e dejetos. Segundo BGS apud Magalhães (1986), Alves (1998) e Embrapa (2006), o pH ideal para as bactérias metanogênicas situa-se entre 6,6 e 7,4, sendo que valores muito ácidos ou muito alcalinos podem reduzir ou inibir a geração de biogás.

O tempo de retenção hidráulica é o período em que a biomassa permanece no interior do biodigestor. O TCC base indica como faixa adequada o intervalo de 30 a 40 dias, pois a sobrecarga de substrato pode impedir que os microrganismos degradem completamente a matéria orgânica, prejudicando a qualidade do biogás e do biofertilizante. Esse parâmetro é indispensável no dimensionamento do volume do biodigestor e da frequência de abastecimento.

A agitação favorece o contato entre microrganismos e biomassa, evita a formação de zonas mortas e auxilia a liberação do gás acumulado ao redor das colônias bacterianas. Conforme BGS apud Magalhães (1986), Alves (1998) e Embrapa (2006), em biodigestores pequenos a agitação pode ser realizada manualmente, de forma leve e periódica, sendo recomendada para melhorar a eficiência do processo.

A temperatura também exerce influência direta sobre a atividade microbológica. Karlsson et al. (2014) ressaltam que os microrganismos se desenvolvem melhor em condições controladas, com destaque para faixas mesofílicas e termofílicas. O Manual Básico de Biogás (2014) indica temperaturas em torno de 37°C para bactérias mesofílicas e 55°C para termofílicas, enquanto o TCC registra que as bactérias metanogênicas apresentam melhor desenvolvimento entre 28°C e 35°C, faixa compatível com a realidade de muitas regiões brasileiras.

A proporção entre dejetos e água é outro fator relevante, pois a concentração de sólidos interfere na biodigestão. O excesso de água pode reduzir a qualidade dos dejetos e a geração de biogás, enquanto a diluição adequada favorece a concentração de sólidos recomendada. Para dejetos bovinos, a relação indicada no TCC é de 1:1 entre dejetos e água, considerando a necessidade de diluição para alimentação do biodigestor.

2.4 Biodigestores e modelo em batelada

O biodigestor é o equipamento destinado à produção de biogás por fermentação anaeróbia. Deganutti et al. (2002) o descrevem como uma câmara fechada na qual o dejetos, diluído em solução aquosa, sofre decomposição, formando biogás acumulado na parte superior, denominada gasômetro. Gaspar (2003) acrescenta que a estrutura básica compreende a fossa ou tanque, onde ocorre a digestão, e a campânula, responsável pelo armazenamento do gás.

Quanto ao abastecimento, os biodigestores podem ser contínuos ou intermitentes. Gaspar (2003) observa que o modelo contínuo recebe biomassa diariamente, com descarga proporcional à entrada, enquanto o intermitente utiliza sua capacidade máxima e mantém a biomassa até a completa biodigestão, quando o material é retirado e uma nova carga é inserida. Esse segundo modelo é adequado quando a disponibilidade de resíduos ocorre em intervalos maiores ou quando se pretende uma solução simplificada para pequenas propriedades.

O modelo em batelada é simples e pode ser composto por um tanque anaeróbio isolado ou por tanques em série. Deganutti et al. (2002) explicam que esse tipo de biodigestor é abastecido de uma única vez e permanece fechado durante o período necessário à fermentação. Jorge e Omena (2012) acrescentam que, após o término da produção de biogás, o sistema pode

ser esvaziado e receber nova carga de biomassa. Karlsson et al. (2014) registram que a produção de metano tende a ser maior no início e diminuir com o tempo, pois não há adição diária de substrato.

O biodigestor em batelada analisado neste artigo se mostra compatível com a proposta de baixo custo, simplicidade construtiva e aplicação doméstica ou em pequena propriedade rural. Embora possa apresentar produção menos constante que sistemas contínuos, sua adoção é justificável pela facilidade de construção e pelo aproveitamento de materiais acessíveis, conforme a finalidade experimental e econômica do estudo.

2.5 Purificação do biogás

A purificação do biogás consiste na remoção ou redução de componentes que diminuem sua eficiência energética ou podem causar corrosão no sistema. Karlsson et al. (2014) apontam que a extração de sulfeto de hidrogênio e dióxido de carbono pode ocorrer por lavagem com água pressurizada. Coelho et al. (2006) destacam que substâncias não combustíveis, como água e CO₂, afetam a queima, enquanto o H₂S pode formar ácido sulfídrico e reduzir a vida útil de equipamentos.

Maia et al. (2015), com base em Abatzoglou e Boivin (2009), afirmam que o CO₂ é considerado gás inerte na combustão e limita a propriedade energética do biogás. A depender da finalidade de uso, técnicas como purificação por membrana, lavagem de gás, purificação criogênica, adsorção e purificação biológica podem elevar o teor final de metano. Miyawaki (2014) apresenta diferentes métodos de purificação, com percentuais finais de metano que podem alcançar faixas entre 87% e 100%, conforme a tecnologia empregada.

No estudo em análise, a proposta principal é a substituição do GLP por biogás em uso doméstico, em escala experimental. Por isso, embora a purificação seja tecnicamente relevante, a análise econômica prioriza a construção do biodigestor e a economia gerada pela substituição do botijão de GLP, sem acrescentar custos adicionais de sistemas sofisticados de purificação.

3 Materiais e métodos

A pesquisa foi desenvolvida a partir de revisão de literatura e construção de um biodigestor experimental para avaliação da substituição do GLP por biogás. O enfoque metodológico é aplicado e quantitativo, pois busca verificar, por meio de indicadores econômicos, a viabilidade de um sistema construído com materiais de baixo custo e destinado ao aproveitamento de dejetos bovinos.

O biodigestor foi elaborado com bombona plástica de 200 litros com tampa, utilizada como câmara de digestão anaeróbia. O sistema recebeu agitador interno e três encanamentos: um para entrada da matéria-prima diluída em água, um para saída do biofertilizante e outro para armazenamento do biogás. A câmara de ar aro 20 foi utilizada como campânula ou gasômetro.

O abastecimento adotado foi em batelada, com preenchimento aproximado de um terço do volume com dejetos bovinos, um terço com água e um terço destinado ao armazenamento do gás.

O custo total dos materiais utilizados para a construção do biodigestor foi de R\$ 487,00. Entre os itens empregados, destacam-se bombona de 200 litros, câmara de ar, motor de geladeira, registros, adaptadores, curvas, caps, mangueiras, flanges, fita veda rosca e demais conexões hidráulicas. A escolha dos materiais considerou a disponibilidade comercial, o baixo custo e a possibilidade de replicação em pequena escala.

A análise econômica foi realizada por meio de três indicadores: Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR) e Payback. Walker (2009) apresenta esses critérios como instrumentos de tomada de decisão em estudos de viabilidade econômica, pois permitem comparar investimento inicial, receitas ou economias geradas, custos de operação e retorno do capital ao longo do tempo.

O VPL foi utilizado para trazer os fluxos de caixa futuros ao valor presente, descontados por uma Taxa Mínima de Atratividade (TMA). De acordo com HC Investimentos (2017), o VPL corresponde ao valor presente das entradas de caixa menos o valor presente das saídas. A TIR foi considerada como taxa percentual de remuneração do investimento, conforme Pilão (2003), enquanto o Payback indicou o prazo necessário para recuperação do capital investido, conforme Ávila (2015).

Tabela 1 - Síntese dos principais materiais e custos do biodigestor

Item/Grupo	Finalidade no sistema	Valor destacado no TCC
Bombona de 200 L	Câmara de digestão anaeróbia	R\$ 100,00
Câmara de ar aro 20	Campânula/gasômetro para armazenamento do biogás	R\$ 30,00
Motor de geladeira	Componente auxiliar do sistema	R\$ 100,00
Conexões, registros, mangueiras, flanges e vedantes	Entrada de biomassa, saída de biofertilizante, condução e vedação do biogás	Valores unitários variados
Somatória do sistema	Investimento inicial total	R\$ 487,00

Fonte: elaborado a partir dos dados de materiais e custos constantes no TCC original.

4 Resultados e discussão

Os resultados econômicos foram calculados com base no custo médio do botijão de GLP de 13 kg no Município de Ouro Preto do Oeste, em janeiro de 2020, estimado em R\$ 95,00. Considerou-se que uma residência com quatro pessoas consome, em média, um botijão de 13 kg a cada 3,5 meses. A partir dessa relação, a economia mensal estimada com a substituição do GLP por biogás foi calculada em R\$ 27,00.

O investimento inicial para a construção do biodigestor foi de R\$ 487,00. A partir desse desembolso e da economia mensal de R\$ 27,00, o fluxo de caixa acumulado torna-se positivo no 19º mês, pois ao final do 18º mês ainda resta saldo negativo de R\$ 1,00, e no 19º mês o saldo acumulado passa para R\$ 26,00. Esse resultado demonstra que o sistema apresenta retorno relativamente próximo para uma tecnologia de baixo custo e pequena escala.

Aplicando-se a TMA de 0,5% ao mês, obteve-se VPL de R\$ 1,22. Embora o valor seja baixo, o critério econômico indica viabilidade, pois o VPL positivo significa que o projeto supera a taxa mínima adotada. A TIR encontrada foi de 0,53%, valor ligeiramente superior à TMA, reforçando a atratividade econômica do investimento nas condições analisadas. O Payback foi de 18 meses e 12 dias, indicando o período necessário para recuperação do investimento inicial.

A análise evidencia que a viabilidade econômica está diretamente vinculada ao preço do GLP, ao consumo doméstico, ao custo dos materiais e à regularidade de produção do biogás. Em cenários nos quais o GLP apresente valor mais elevado, o retorno do investimento tende a ocorrer em prazo menor. Por outro lado, caso o custo de construção aumente ou a produção de biogás seja insuficiente para substituir o consumo esperado, a atratividade econômica poderá ser reduzida.

Além da dimensão financeira, os resultados devem ser interpretados à luz dos benefícios ambientais do sistema. A biodigestão de dejetos bovinos reduz a disposição inadequada de resíduos, diminui o potencial de contaminação do solo e da água e transforma matéria orgânica em energia e biofertilizante. Assim, mesmo que o retorno econômico seja modesto, a soma entre economia doméstica, tratamento de resíduos e aproveitamento energético confere relevância ao biodigestor.

A discussão também revela que o modelo em batelada é apropriado para experiências de pequena escala e propriedades com disponibilidade periódica de dejetos. Contudo, a produção de gás pode não ser constante, uma vez que a geração tende a ser maior no início do processo e a diminuir ao longo do ciclo. Em aplicações que exijam fornecimento diário mais regular, biodigestores contínuos podem ser mais adequados, embora envolvam maior complexidade operacional e possivelmente maior custo.

Outro ponto relevante refere-se à purificação do biogás. A presença de CO₂, H₂S e umidade pode reduzir a eficiência da queima e danificar componentes. Embora o estudo tenha priorizado o aproveitamento econômico básico, a inclusão de sistemas simples de filtragem ou purificação pode melhorar a qualidade do biogás e ampliar sua segurança operacional. Porém, tais melhorias devem ser avaliadas economicamente, pois podem elevar o investimento inicial e alterar os indicadores de retorno.

Portanto, os resultados demonstram que o biodigestor caseiro de baixo custo pode funcionar como solução viável para substituição do GLP em condições específicas. A viabilidade é mais forte quando há disponibilidade local de dejetos bovinos, possibilidade de montagem com

materiais acessíveis, consumo doméstico compatível e interesse em associar economia financeira a benefícios ambientais.

Tabela 2 - Resultados da análise de viabilidade econômica

Critério	Resultado
Investimento inicial	R\$ 487,00
Economia mensal estimada	R\$ 27,00
TMA	0,5% ao mês
VPL	R\$ 1,22
TIR	0,53%
Payback	18 meses e 12 dias

Fonte: elaborado a partir dos resultados apresentados no TCC original.

4.1 Implicações ambientais e aplicação prática do sistema

Além dos indicadores financeiros, o estudo revela que o uso do biodigestor pode contribuir para melhorar o manejo dos resíduos da bovinocultura. A disposição inadequada de dejetos animais pode intensificar a contaminação do solo e das águas, sobretudo quando há carreamento de matéria orgânica e microrganismos patogênicos. Nesse sentido, a digestão anaeróbia funciona como alternativa de tratamento, pois direciona o resíduo para um processo controlado, com produção de gás combustível e geração de efluente com potencial de uso agrícola.

O aproveitamento energético do biogás também dialoga com a necessidade de descentralização da produção de energia. Em pequenas propriedades rurais, a dependência exclusiva do GLP pode representar custo constante e vulnerabilidade às oscilações de preço. O biodigestor, por sua vez, permite transformar resíduo disponível localmente em fonte energética de uso cotidiano. Essa lógica de reaproveitamento fortalece a sustentabilidade do sistema produtivo, pois reduz perdas, agrega valor ao resíduo e cria uma alternativa de abastecimento doméstico.

A substituição do GLP pelo biogás, mesmo que parcial, deve ser compreendida como estratégia de transição para fontes renováveis. O GLP permanece importante pela praticidade, pressão de fornecimento e infraestrutura consolidada; contudo, o biogás apresenta vantagem ambiental por derivar de biomassa recente e por evitar a emissão direta de metano resultante da decomposição livre dos dejetos. Assim, a tecnologia estudada possui pertinência tanto para economia familiar quanto para políticas de saneamento rural e gestão ambiental.

Outro aspecto prático é a simplicidade construtiva do biodigestor. O uso de bombona plástica, conexões hidráulicas e câmara de ar demonstra que a tecnologia pode ser adaptada com materiais disponíveis no comércio local. Essa característica facilita a replicação em contextos educacionais, experimentais e comunitários. Entretanto, a simplicidade não dispensa cuidados técnicos: vedação adequada, controle de entrada de ar, manejo correto do substrato, prevenção

de vazamentos e atenção à segurança no uso do gás são condições indispensáveis para o funcionamento do sistema.

4.2 Limitações do estudo e parâmetros para atualização econômica

A análise realizada está condicionada aos valores e parâmetros definidos no estudo original. O preço do GLP considerado foi de R\$ 95,00 em janeiro de 2020, no Município de Ouro Preto do Oeste, e a economia mensal foi calculada com base no consumo médio de uma botija de 13 kg a cada 3,5 meses por uma família de quatro pessoas. Dessa forma, a reprodução do estudo em outro local ou período exige atualização dos preços do GLP, dos materiais de construção e da taxa mínima de atratividade.

Também é necessário considerar que a viabilidade econômica pode variar conforme a disponibilidade de dejetos bovinos e a produtividade real do biodigestor. Em propriedades que já possuem criação bovina, o custo de obtenção do substrato tende a ser reduzido, favorecendo a atratividade do sistema. Em contextos urbanos ou em residências sem acesso direto ao dejetos, a logística de coleta e transporte pode comprometer a economia esperada.

O modelo em batelada apresenta limitação quanto à regularidade de produção, pois a geração de biogás tende a variar ao longo do ciclo de digestão. Para uso doméstico contínuo, pode ser necessário planejar sistemas com mais de uma câmara, escalonamento de cargas ou adoção de biodigestor contínuo. Essas alternativas podem elevar o investimento inicial, mas também podem aumentar a estabilidade da oferta de gás.

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos cumprem a finalidade de demonstrar a possibilidade técnica e econômica de um sistema de baixo custo. O estudo funciona como base para novas pesquisas aplicadas, sobretudo aquelas que busquem comparar diferentes escalas de biodigestores, tipos de substrato, métodos de purificação, faixas de temperatura e formas de aproveitamento do biofertilizante. A atualização periódica dos cálculos é indispensável para manter a análise compatível com as condições reais de mercado.

5 Considerações finais

O presente artigo analisou a viabilidade econômica da substituição do GLP por biogás oriundo de dejetos bovinos, a partir de um biodigestor caseiro construído em escala experimental. A proposta demonstrou que resíduos da bovinocultura podem ser aproveitados como substrato energético, contribuindo para a geração de energia renovável e para a mitigação de impactos ambientais associados ao manejo inadequado de dejetos.

Os indicadores econômicos apontaram viabilidade nas condições estudadas. O investimento inicial de R\$ 487,00, associado à economia mensal de R\$ 27,00, resultou em VPL positivo de R\$ 1,22, TIR de 0,53% e Payback de 18 meses e 12 dias. Como a TIR superou a TMA

de 0,5% ao mês e o VPL foi maior que zero, o projeto pode ser considerado economicamente atrativo dentro dos parâmetros adotados.

A principal fonte de renda ou retorno do sistema corresponde à economia obtida pela não aquisição de botijões de GLP. No cenário analisado, o consumo de 18 meses e 12 dias equivaleria a aproximadamente cinco botijões de 13 kg, totalizando R\$ 475,00 com base no preço considerado em janeiro de 2020. Desse modo, após o período de recuperação, o sistema passa a gerar economia ao usuário.

Também se conclui que a viabilidade do biodigestor não deve ser medida apenas pelo retorno financeiro direto. O tratamento dos dejetos bovinos, a redução do potencial poluidor, a possibilidade de obtenção de biofertilizante e a substituição de fonte fóssil por fonte renovável são elementos que fortalecem a relevância ambiental e social do projeto. Esses benefícios são especialmente importantes para pequenas propriedades rurais e contextos em que há disponibilidade de resíduos orgânicos.

Por fim, recomenda-se que estudos futuros atualizem os valores de mercado do GLP e dos materiais de construção, avaliem diferentes volumes de biodigestores, considerem sistemas de purificação de baixo custo e mensurem a produção real de biogás em diferentes condições de temperatura, pH e tempo de retenção. Também é pertinente ampliar a análise para usos como aquecimento, geração de energia elétrica, aproveitamento do biofertilizante e eventual aplicação em modelos produtivos rurais.

Referências

AMARAL, Cecília; AMARAL, Luiz; JUNIOR, Jorge; NASCIMENTO, Adjair Antônio; FERREIRA, Daniel; MACHADO, Marcia. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. *Ciência Rural*, Santa Maria, v.34, n.6, p.1897-1902, nov-dez, 2004.

ANDRADE, M. A. N.; RANZI, T. J. D.; MUNIZ, R. N.; SILVA, L. G. de S.; ELIAS, M. J. Biodigestores Rurais no Contexto da Atual Crise de Energia Elétrica Brasileira e na Perspectiva de Sustentabilidade Ambiental: 2002.

ÁVILA, Rafael. Luz Planilhas Empresariais – 3 indicadores de viabilidade essenciais para seu novo negócio dar certo. 2015. Disponível em: <<https://blog.luz.vc/o-que-e/3-indicadores-de-viabilidade-essenciais-para-seu-novo-negocio-dar-certo/>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

BARBOSA, G.; LANGER, M. Uso de biodigestores em propriedades rurais: uma alternativa à sustentabilidade ambiental: 2011.

BGS, Equipamentos para biogás. Fatores que influenciam a produção de biogás. Disponível em: <<https://www.bgsequipamentos.com.br/fatores-que-influenciam-producao-biogas/>>. Acesso em: 07 jul. 2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. Estudo sobre o Potencial de Geração de Energia a partir de Resíduos de Saneamento (lixo, esgoto), visando incrementar o uso de

- biogás como fonte alternativa de energia renovável. 2010. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/164/publicacao/164_publicacao10012011033201.pdf>. Acesso em: 05 mar. 2019.
- BUENO, Rodrigo. Comparação entre biodigestores operados em escala piloto para produção de biogás alimentado com estrume bovino. *HOLOS Environment*, v.10, n.1, p.111, 2010.
- CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. Biodigestores. VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2008.
- CHERNICHARO, C. A. de L. Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuais. DESA/UFMG. Belo Horizonte, MG, v.5, 1997.
- COELHO, Suani; VELÁZQUEZ, Sílvia; MARTINS, Osvaldo; ABREU, Fernando. A conversão da fonte renovável biogás em energia. Políticas públicas para a Energia: desafios para o próximo quadriênio. Brasília, DF, 31 maio a 02 jun. 2006.
- CONTÁBEIS. O que é e como calcular o payback. 2016. Disponível em: <<https://www.contabeis.com.br/noticias/30249/o-que-e-e-como-calcular-o-payback/>>. Acesso em: 05 jan. 2020.
- COSTA, Rodrigo. Guto: Análise Financeira. Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <www.cin.ufpe.br/~rac2/emprendimentos/AnaliseFinanceira.doc>. Acesso em: 05 jan. 2020.
- DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. do C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. dos. Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada. 2002.
- DOMINIAC, Altivir L.; TONELLO, João P. C.; SILVA, Wagner A. Projeto e implantação de sistemas de geração de biogás em pequenas propriedades rurais como fonte alternativa de energia. 2016. 56 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2016.
- DORAN, J. W.; LINN, D. M. Bacteriological quality of runoff water from pastureland. *Applied of Microbiology*, v.37, p.985-991, 1979.
- DOWNEY, N. E.; MOORE, J. F. Trichostrongylid contamination of pasture fertilized with cattle slurry. *Veterinary Record*, London, v.101, n.24, p.487-488, 1977.
- EMBRAPA. Relatório de Referência. Emissões de metano da pecuária. Brasília: Ministério da Ciência e Tecnologia, 2002.
- EMBRAPA. Documentos 196. Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves, 52 p., 2018.
- ESPERANCINI, M. S. T.; COLEN, F.; BUENO, O. de C.; PIMENTEL, A. E. B.; SIMON, E. J. Viabilidade Técnica e Econômica da Substituição de fontes convencionais de Energia por Biogás em Assentamento Rural do estado de São Paulo. 2007.
- FRANÇA JR., A. T. de. Análise do Aproveitamento Energético do Biogás Produzido numa Estação de Tratamento de Esgoto. 2008. 151 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, SP.

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. 106 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

HC INVESTIMENTOS. Valor Presente Líquido: o que é o VPL e porque isso é importante para os seus investimentos. 2017. Disponível em: <<https://hcinvestimentos.com/2017/01/17/valor-presente-liquido/>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

JORGE, L. H. A.; OMENA, E. Biodigestor. Dossiê Técnico. SENAI/AM - Escola SENAI Antônio Simões. Março, 2012.

KARLSSON, Tommy; KONRAD, Odorico; LUMI, Marlucci; SCHMEIER, Nara; MARDER, Munique; CASARIL, Camila; KOCH, Fábio; PEDROSO, Albari. Manual básico de biogás. Lajeado: Editora Univates, 1. ed., 2014.

LEITE, A. B.; BERTOLI, S. L.; BARROS, A. A. C. Absorção Química de Dióxido de Nitrogênio (NO₂). Engenharia Sanitária e Ambiental, v.10, p.49-57, 2005.

LUCAS JR., J. et al. Avaliação do uso de inóculo no desempenho de biodigestores abastecidos com estrume de frangos de corte com cama de maravalha. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 22., 1993, Ilhéus. Anais... p.915-930.

MAIA, Djeine; LENZI, Giane; ARROYO, Pedro; FRARE, Laercio; GIMENES, Marcelino; PEREIRA, Nehemias. Desenvolvimento de um sistema para purificação de biogás utilizando Fe/EDTA como absorvente. ENGEVISTA, v.17, n.2, p.219-231, jun. 2015.

MEDEIROS, Sabrina; PAEZ, Schirley. Potencial de geração de energia elétrica a partir da digestão anaeróbia de esgoto sanitário. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MIYAWAKI, Bruno. Purificação de biogás através de cultivo de microalgas em resíduos agroindustriais. 2014. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais.

MORAIS, Alexandre. Perspectivas de inserção do GLP na matriz energética brasileira. 2005. XII, 122 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, 2005.

PILÃO, Nivaldo Elias; HUMMEL, Paulo Roberto Vampré. Matemática Financeira e engenharia econômica. São Paulo: Pioneira Thompson Learning, 2003.

SALOMON, Karina R.; LORA, Electo E. S. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. Revista Biomassa e Energia, v.2, n.1, p.57-67, 2005.

SANTOS, Edval Luiz; JUNIOR, Geraldo. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. Tékhnē e Logos, Botucatu, SP, v.4, n.2, ago. 2013. ISSN 2176-4808.

SILVA, N. A. Construção e operação de biodigestor: modelo chinês. Brasília, DF: EMBRATER, 1983. Manual técnico.

SOARES, Jimmy; MARRA, Sávio; BRASIL, Alex; NUNES, Diego. Construção de

biodigestores didáticos e estudo da biodigestão de co-produtos do biodiesel. UIT, 2017.

SOTTI, Gustavo. Biogás de digestão anaeróbia dos resíduos orgânicos de restaurante universitário com efluente sanitário. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

TREASY. Taxa Interna de Retorno: como a TIR é aplicada na análise de viabilidade de investimento em um projeto. 2017. Disponível em: <<https://www.treasy.com.br/blog/taxa-interna-de-retorno-tir/>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

VILLELA, I. A. C.; SILVEIRA, J. L. Aspectos históricos e técnicos do uso do biogás produzido por biodigestores rurais. In: Biogás Pesquisas e Projetos no Brasil. São Paulo: CETESB, Secretaria do Meio Ambiente, 2006. p.151-155.

WALKER, Eliana. Estudo da viabilidade econômica na utilização de biomassa como fonte de energia renovável na produção de biogás em propriedades rurais. UNIJUÍ, RS, 2009.

ZANETTE, A. L. Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. 2009. 105 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

¹ Bacharel em Engenharia Ambiental pela Faculdade de Ouro Preto do Oeste – UNEOURO. ² Professor orientador do Trabalho de Conclusão de Curso que originou este artigo.