

Produção de biogás com dejetos de bovino leiteiro em uma propriedade de pequeno porte

Jhenifer Aline Bastos¹, Sílvia Gonçalves Belém², Itânia Pinheiro Soares³, Felipe Orcelli Wojcieckowski⁴, Rafael Moreira Marques⁵, Gabriel de Szechey Vigna⁶, Rossano Gambetta⁷

Resumo

O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho de um biodigestor, localizado em uma propriedade produtora de leite de pequeno porte, e estimar o custo evitado com a substituição do gás de cozinha pelo biogás. Foram feitas análises físico-químicas com amostras coletadas no ponto de entrada (dejetos) e saída (digestato) do biodigestor e foi determinado o teor de metano de dióxido de carbono do biogás. Como principais resultados, obteve-se, aproximadamente, 20% de remoção de matéria orgânica (SVbs) no ponto de saída e teor de metano no biogás próximo de 60%. Ao estimar a substituição do gás de cozinha pelo biogás consumido, o produtor economizou um botijão de gás por mês e obteve receita de R\$ 120,00/mês. Logo, a instalação de biodigestores em pequenas propriedades traz benefícios econômicos e ambientais ao produtor por transformar um passivo ambiental em ativo econômico.

Termos para indexação: digestão anaeróbia, metano, substituição do GLP.

Introdução

A intensificação da pecuária tem gerado desafios ambientais, exigindo práticas agropecuárias de baixo carbono para reduzir as emissões de gases de efeito estufa (GEE). A criação de bovino leiteiro é uma das principais atividades agropecuárias no Brasil, estando presente em 98% dos municípios brasileiros com produção de, aproximadamente, 34 bilhões de litros de leite por ano (Anuário..., 2023). A digestão anaeróbia surge como uma alternativa promissora para mitigar essas emissões, convertendo os dejetos animais em biogás. Segundo o Relatório de Potencial de Produção de Biogás da Bovinocultura Leiteira de 2020 (Empresa de Pesquisa Energética, 2020), apenas em propriedades de pequeno e médio porte, o potencial de produção de metano foi de 363,7 milhões de Nm³/ano, suficiente para substituir um botijão de gás de cozinha (modelo P-13) a cada 16,8 Nm³ de metano.

Logo, o tratamento dos dejetos por digestão anaeróbia não apenas se apresenta como uma opção de negócio para pequenos produtores de leite, mas também transforma um passivo ambiental em ativo econômico. Nesse contexto, o objetivo do trabalho foi avaliar o desempenho de um biodigestor em uma propriedade de leite de pequeno porte e estimar os custos evitados com a substituição do gás de cozinha pelo biogás.

¹ Engenheira ambiental, doutoranda em Sustentabilidade Ambiental Urbana, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, jhenifer.bastos@colaborador.embrapa.br.

² Engenheira química, doutora em Engenharia Química, Embrapa Agroenergia, silvia.belem@embrapa.br

³ Química, doutora em Química Analítica, Embrapa Agroenergia, itania.soares@embrapa.br

⁴ Graduado em Química Tecnológica, Universidade de Brasília, felipe.orcelli@colaborador.embrapa.br

⁵ Graduado em Química Tecnológica, Universidade de Brasília, rafael.marques@colaborador.embrapa.br

⁶ Graduado em Engenharia Mecatrônica, Universidade de Brasília, gabriel.vigna@colaborador.embrapa.br

⁷ Engenheiro químico, doutor em Ciência da Engenharia Química, Embrapa Agroenergia, rossano.gambetta@embrapa.br

Materiais e métodos

Descrição da unidade de estudo

A propriedade está localizada na área rural do município de Luziânia, GO e se dedica principalmente à criação de bovinos leiteiros. Em julho de 2022, foi instalado um biodigestor como parte de um projeto desenvolvido pela Embrapa Agroenergia em parceria com a Cooperativa Mista da Agricultura Familiar do Meio Ambiente e da Cultura do Brasil (Coopindaiá). A propriedade possui cerca de 20 cabeças de bovinos leiteiros, mantidos em regime de confinamento apenas durante a ordenha. A planta de biogás inclui uma área de armazenamento de dejetos, o biodigestor com um volume total de 4 m³, um tanque para armazenar do digestato, um reservatório de biogás e uma linha de transmissão para levar o biogás até a residência do produtor.

O biodigestor foi dimensionado para tratar 12,5 kg de dejetos bruto por dia, contendo até 10% de sólidos totais, sem sistema de aquecimento e agitação. Para medir o volume de biogás produzido, utilizou-se um manômetro de gás, que registra o consumo de biogás por hora, especialmente quando o produtor utiliza o biogás para cocção de alimentos.

Caracterização físico-química do dejetos e monitoramento do biodigestor

A caracterização físico-química do dejetos foi realizada com as amostras coletadas do ponto de entrada (área de armazenamento do dejetos) e as análises de monitoramento do biodigestor foram realizadas com as amostras do ponto de saída (tanque de armazenamento do digestato). O período de coleta das amostras estendeu-se entre agosto de 2022 até julho de 2023, com exceção do intervalo entre os meses de novembro de 2022 até janeiro de 2023, em que o biodigestor estava em manutenção, totalizando oito amostragens. Para isso, foi analisado o teor de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e pH, conforme APHA (2005), além da alcalinidade total (AT) (Ripley et al., 1986) e nitrogênio total Kjeldahl (NTK) (Association of Official Analytical Chemists, 1990), respectivamente. Para estimar a quantidade de carbono orgânico total (COT), foi dividido o teor de SV em base seca pelo fator 1,8, conforme sugerido por Kiehl (2010). A relação carbono:nitrogênio (C:N) foi obtida utilizando-se o valor de COT e teor de NTK. A composição do biogás foi obtida pelo método de cromatografia gasosa para determinar a concentração de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂).

Resultados e discussão

Caracterização físico-química do substrato (ponto de entrada)

O teor de sólidos totais (ST) variou de 0,6% a 6,0%, permanecendo dentro do limite adequado para biodigestores domésticos (abaixo de 10%) (Tabela 1). O teor de ST da amostra 5 foi menor (0,6%) enquanto o teor de ST da amostra 2 foi maior (6,0%). Essa diferença, possivelmente, está relacionada ao manuseio do dejetos e à interferência da água da chuva no período de coleta.

Tabela 1. Caracterização físico-química do substrato (ponto de entrada).

Amostra	ST (%)	SV (%bs)	pH	NTK (%ST)	COT (%ST)	C:N
1	5,1±0,9	88,1±1,0	5,3±0,03	1,8±0,2	49,0±0,6	27,7
2	6,0±0,2	86,6±0,2	6,4±0,01	1,4±0,1	48,1±0,1	35,8
3	4,1±0,1	85,7±0,1	6,7±0,02	1,6±0,0	47,6±0,1	29,7
4	1,4±0,2	68,8±1,4	6,5±0,01	1,7±0,3	38,2±0,8	22,2
5	0,6±0,0	76,6±0,4	7,1±0,03	1,4±0,1	42,6±0,2	31,5
6	2,4±0,3	81,5±0,9	6,7±0,01	2,3±0,0	45,3±0,5	19,6
7	4,3±0,1	85,9±0,2	5,8±0,02	1,3±0,1	47,7±0,1	36,7
8	2,6±0,1	85,7±0,1	5,9±0,01	3,1±0,2	47,6±0,1	15,4

ST: sólidos totais; SV: sólidos voláteis; bs: base seca; NTK: nitrogênio total Kjeldahl, COT: carbono orgânico total; C:N: relação carbono:nitrogênio.

Quanto ao teor de sólidos voláteis (SVbs), a maioria das amostras apresentou valores acima de 75%, exceto pela amostra 4, que resultou em 68,8% (Tabela 1). A manutenção do biodigestor antes das amostragens levou ao acúmulo de dejetos na área de armazenamento, causando a perda de SV para o ambiente. Após o período de manutenção, observou-se um aumento gradual do teor de SV nas amostras 5 a 8, chegando próximo de 85%. Esse valor está próximo ao encontrado na literatura (80%) e representa a matéria orgânica volátil disponível no substrato para conversão em biogás (ONUDI, 2021). O pH manteve-se entre 5,3 e 7,1, com o maior valor registrado para a amostra 5 (7,1) e o menor valor para a amostra 1 (5,3) (Tabela 1). Essa variação também está relacionada ao manejo do dejetos e às condições climáticas, uma vez que o tanque de armazenamento estava a céu aberto. Valores de pH entre 6,7 e 7,5 são desejados para o bom funcionamento do processo de digestão anaeróbia, por causa da limitação da atividade metanogênica em meio ácido (Kunz et al., 2019).

Quanto ao teor de NTK, observou-se menor valor para a amostra 7 (1,3%) e maior valor para a amostra 8 (3,1%) (Tabela 1), sendo essa variação associada ao teor de proteína bruta contida na alimentação dos animais. O nitrogênio faz parte da estrutura molecular das proteínas (ligações peptídicas), e pode variar de acordo com o tipo de ração, pastagem ou silagem adicionada à alimentação do animal (Salman et al., 2011). Logo, o teor de nitrogênio deve ser monitorado na digestão anaeróbia, pois, quando convertido em amônia (NH_3), pode inibir as metanogênicas em concentração acima de 80 mg/L (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial, 2021).

Por outro lado, o teor de COT da amostra de entrada foi superior a 40% ao longo do estudo, exceto pela amostra 4, que resultou em 38,6% (Tabela 1). Essa diferença é atribuída ao baixo valor de SVbs (68,8%), pois o cálculo do teor de COT é obtido pela divisão do valor de SV pelo fator 1,8. Logo, nota-se que o valor de COT da amostra 1 é maior quando comparado com as demais (49,0%), mas quando relacionada ao teor de NTK (relação C:N) obteve uma relação C:N de 28:1. Contudo, os valores da relação C:N obtidos no estudo estão dentro do recomendado pela literatura (15 - 35:1) (Kunz et al., 2019), indicando que o processo possui carbono como fonte de energia para o desenvolvimento do metabolismo celular e nitrogênio como componente para a reprodução dos microrganismos.

Monitoramento dos parâmetros físico-químicos do biodigestor (ponto de saída)

A análise dos parâmetros de monitoramento do biodigestor resultou em valores de ST próximos a 1,4%, exceto para a amostra 6, que foi de 3,1% (Tabela 2). Essa variação está associada ao acúmulo de sólidos no encanamento que conecta o biodigestor ao tanque de armazenamento do digestato, o que interferiu nesta amostra em particular. Contudo, observou-se redução do teor de ST em relação às amostras do ponto de entrada, como esperado em sistemas de biodigestão, onde parte do substrato é convertido em biogás enquanto outra parte dos sólidos é decantada no fundo do biodigestor.

Tabela 2. Parâmetros de monitoramento do biodigestor (ponto de saída).

Amostra	ST (%)	SV (%bs)	pH	AT (mg CaCO_3 /L)	CH4 (%)
1	1,1±0,0	73,5±0,7	7,2±0,01	1.181±57,2	46,5±0,5
2	1,4±0,0	76,1±0,9	6,9±0,03	1.705±134,4	49,9±1,7
3	1,3±0,0	75,7±0,1	6,9±0,01	1.748±80,1	Nd
4	0,6±0,0	63,4±0,7	7,3±0,02	846±17,7	57,8±0,8
5	0,5±0,0	72,5±1,1	7,0±0,05	747±3,9	60,4±0,8
6	0,8±0,2	65,6±0,4	7,6±0,03	833±19,3	62,5±1,6
7	0,8±0,0	68,7±0,3	6,9±0,01	746±17,8	50,2±1,3
8	3,1±0,1	79,3±0,5	7,3±0,07	942±11,8	50,5±1,6

ST: sólidos totais; SV: sólidos voláteis; bs: base seca; AT: alcalinidade total; mg CaCO_3 /L: miligrama de carbonato de cálcio por litro; CH4: teor de metano no biogás.

Quanto ao teor de SVbs, também foi observada redução dos valores em relação às amostras do ponto de entrada, chegando a atingir 63,4% de SV (amostra 4) (Tabela 2). Essa diminuição do teor de SV do substrato após o processo de digestão anaeróbia é um fator positivo, indicando a conversão da matéria orgânica volátil em biogás (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial, 2021). Ao se calcular a remoção de SV comparando com as amostras do ponto de entrada, notou-se que as amostras 6 e 7 apresentaram maiores valores de remoção, sendo 19,5% e 20,0%, respectivamente. Isso sugere um aumento na eficiência do processo de digestão nessas datas específicas, porém é essencial otimizar a operação do biodigestor para alcançar uma taxa de remoção ainda maior.

Por outro lado, os valores de pH aumentaram quando comparados com os valores da amostra do ponto de entrada, chegando a 7,6 para a amostra 6 (Tabela 2). Esse comportamento também é desejado na digestão anaeróbia, uma vez que as metanogênicas atuam em uma faixa de pH de 6,7 a 7,5 (Kunz et al., 2019). Em relação aos valores de AT, foi observado que apenas as amostras 2 e 3 ficaram dentro do limite indicado pela literatura (1.500 mg/L–5.000 mg/L) (Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial, 2021), sendo de 1.705 mg/CaCO₃/L e 1.748 mg/CaCO₃/L, respectivamente (Tabela 2). A alcalinidade atua como agente tampão dentro do biodigestor e garante a sinergia entre os microrganismos metanogênicos e as bactérias da etapa de hidrólise e acidogênese. Logo, o biodigestor do presente estudo requer maior atenção quanto ao parâmetro de AT, mesmo que o teor de metano esteja na faixa de 60% para algumas amostras, como o caso da amostra 6, que apresentou teor de metano (62,5%) e valor de AT igual a 833 mg/L.

Uso do biogás para cocção de alimentos na propriedade

O biodigestor operou efetivamente por três meses, sendo consumido pelo produtor cerca de 28,5 m³ de biogás por mês. Segundo Silva (2019), um botijão de gás (GLP, P13) equivale a 28,5 m³ biogás e o custo médio de um botijão no estado de Goiás é R\$ 120,00. Logo, estima-se que o produtor economizou, aproximadamente, um botijão de GLP por mês, o que resultaria em uma receita de R\$ 120,00/mês. Portanto, nota-se que a digestão anaeróbia pode ser considerada como alternativa para a substituição do gás de cozinha pelo biogás, desde que os parâmetros operacionais do biodigestor estejam estáveis e o teor de metano no biogás seja de, no mínimo, 50%.

Conclusão

A produção de biogás a partir dos dejetos da bovinocultura leiteira é uma estratégia viável e promissora para o manejo sustentável dos resíduos e para a redução dos custos na propriedade rural. No estudo, verificou-se que a substituição do gás de cozinha pelo biogás para cocção de alimentos reduziu os gastos com um botijão de gás por mês (durante três meses) e gerou uma receita mensal de aproximadamente R\$ 120,00. No entanto, é fundamental monitorar os parâmetros físico-químicos do processo de digestão anaeróbia, uma vez que qualquer alteração no manejo dos resíduos ou interferência externa pode afetar a qualidade do biogás e ter impactos negativos no sistema.

Referências bibliográficas

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington, 2005.

ANUÁRIO leite 2023: Leite de baixo carbono. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2023.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis**. 11th ed. Washington, D.C., 1990.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Nota Técnica 013/2020**: recursos energéticos distribuídos: potencial técnico de metano da pecuária bovina. Brasília-DF, 2020.

KIEHL, E. J. **Novos fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Degaspari, 2010.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. do (Ed.). **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia, Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2019.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL. **Operação e monitoramento de reatores anaeróbios**: guia de boas práticas. Brasília-DF, Ministério da Tecnologia Ciência e Inovação, 2021.

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v. 58, n. 5, p. 406-411, 1986.

SALMAN, A. K. D.; OSMARI, E. K.; SANTOS, M. G. R. dos. **Manual prático para formulação de ração de vacas leiteiras**. Porto Velho, RO: Embrapa Rondônia, 2011. (Embrapa Rondônia. Documentos, 145).

SILVA, I. M. **Estudo da viabilidade da implantação de um biodigestor sertanejo no assentamento trangola em currais novos (RN)**. 2019. Monografia (Graduação Engenharia Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.