

Biodigestão anaeróbica de dejetos bovinos: eficiência energética, população microbiana e remoção de hormônios

Camila Souza Coelli⁽¹⁾, Felipe Ferreira Coelho⁽²⁾, Larice Rezende Santana⁽³⁾, Juarez Campolina Machado⁽⁴⁾, Marcelo Henrique Otenio^(4,5)

⁽¹⁾Graduanda em Medicina Veterinária – UFJF, Juiz de Fora, MG. e-mail: camilasouza.coelli@estudante.ufjf.br, ⁽²⁾Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária - UFJF, Juiz de Fora, MG. e-mail: 6felipefc@gmail.com, ⁽³⁾Doutoranda em Ciências Farmacêuticas – UFJF, Juiz de Fora, MG. E-mail: laricereznde.santana@estudante.ufjf.br, ⁽⁴⁾Pesquisador Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG. E-mail marcelo.otenio@embrapa.br, ⁽⁵⁾Orientador

Resumo- A geração de biogás em reatores anaeróbios parte do conhecimento do comportamento do inóculo, ou seja, da população microbiana, para o controle do processo e sua otimização. Nesse estudo, o inóculo foi aplicado no teste de Potencial Metanogênico Específico (PME) relevante para determinar a taxa de produção de biogás de resíduos da agropecuária. Foi utilizada a Norma Padrão Alemã VDI 4630 (2006) para preparação dos inóculos constituídos por dejetos bovinos e água de lavagem dos pisos do free stall do Campo Experimental José Henrique Bruschi, da Embrapa Gado de Leite. Neles foram adicionados quatro tipos de ingredientes, constituindo-se a base nutricional para a microflora do inóculo, composta por óleo, silagem de milho, leite em pó e capim. Então, avaliou-se PME de três amostras: (I) Gelatina (II) Bagaço de malte e (III) Celulose que substituíram alguns ingredientes, sendo (I) substituindo o leite em pó, (II) substituindo a silagem de milho, (III) substituindo o capim, um de cada vez. Os resultados obtidos foram comparados ao Relatório do Projeto Interlaboratorial de 2023. Os valores médios de produção de biogás a partir das amostras Gelatina, Malte e Celulose foram semelhantes aos expressos no relatório do projeto interlaboratorial, com melhores resultados para produção de biogás da celulose. Quanto aos resultados dos Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (SV), os valores médios para as amostras Gelatina, Malte e Celulose, estão em conformidade com os resultados do relatório.

Termos para indexação: biodigestão, dejetos, sustentabilidade, biogás.

Aerobic digestion of cattle manure: energy efficiency, microbial population and hormone removal

Abstract- The biogas generation in anaerobic reactors starts from the knowledge of the behavior of the inoculum, that is, of the microbial population for the control of the process and its optimization. In this study, the inoculum applied in the relevant Specific Methanogenic Potential (SPM) test to determine the rate of biogas production from agricultural waste. The German Standard Norm VDI 4630 (2006) was used to prepare the inoculum consisting of bovine manure and water from washing the floors of the free stall of the Embrapa experimental

farm. Four types of ingredients added to them, constituting the nutritional basis for the microflora of the inoculum; composed of oil, corn silage, powdered milk and grass. Then, SPM of three samples were evaluated: (I) Gelatin (II) Malt Bagasse and (III) Cellulose that replaced some ingredients, being (I) replacing powdered milk, (II) replacing corn silage, (III) replacing the grass, one at a time. The results obtained were compared to the 2023 Interlaboratory Project Report. The average values of biogas production from the Gelatin, Malt and Cellulose samples were similar to those expressed in the Interlaboratorial Project report, with better results for biogas production from cellulose. As for the results of Total Solids (TS) and Volatile Solids (SV), the average values for the Gelatin, Malt and Cellulose samples are in accordance with the results of the report.

Index terms: biodigestion, manure, sustainability, biogas.

Introdução

A biodigestão anaeróbia é um processo de estabilização biológica da matéria orgânica, realizada por diferentes tipos de microrganismos, na ausência de oxigênio molecular que promove a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples como metano e gás carbônico (Cassini, 2003). Esse processo ocorre a partir da população microbiana presente no afluente do biorreator. Nesse âmbito, segundo Vazoller (1981), para se atingir o objetivo dos reatores anaeróbios da geração de biogás por meio de um sistema equilibrado e com melhor desempenho possível, é necessário conhecer o comportamento do inóculo microbiano não só para o controle do processo como também para sua otimização. Assim, devem ser considerados parâmetros ambientais do sistema, como a temperatura e o pH, e a configuração do reator, o substrato a ser tratado e o inóculo a ser utilizado (Cassini, 2003). Nesse estudo, a produção de inóculo foi realizada para ser aplicada em teste de Potencial Metanogênico Específico (PME).

Os estudos de PME são relevantes para determinar o valor em produção de biogás de diversas matrizes originárias dos resíduos da agropecuária. Para isto justifica-se a utilização de metodologias padrão para estudos que sejam reprodutíveis e com perspectivas de aplicação no processo de biodigestão anaeróbia em escala real.

Assim, objetivou-se produzir e utilizar inóculos competentes para condução de experimentos, além de estimar o PME, Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV) e o desempenho de biodigestão anaeróbia a partir das amostras recebidas do programa interlaboratorial de biogás da Embrapa. Os resultados que a seguir são expostos vão ao encontro dos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) contidos na Agenda 2030, proposta pela Organização das Nações Unidas, da qual o Brasil é signatário, contribuindo para o alcance dos seguintes objetivos específicos: ODS 6 - Água limpa e saneamento: Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos; ODS 7 - Energias renováveis: Garantir acesso à energia barata, confiável, sustentável e renovável para todos; ODS 8 - Empregos dignos e crescimento econômico: promover o crescimento econômico sustentado, inclusivo e sustentável, emprego pleno e produtivo, e trabalho decente para todos.

Material e métodos

Este estudo buscou avaliar o PME de quatro amostras recebidas pela Embrapa Gado de Leite: (I) Gelatina, (II) Bagaço de malte, (III) Celulose, (IV) Capim-elefante. Para tanto

foi produzido e aclimatado inóculo a partir da mistura de esterco fresco e água de lavagem dos pisos do free stall do Campo Experimental José Henrique Bruschi da Embrapa Gado de Leite. Foi realizada a mistura do inóculo em proporções determinadas, uma amostra de cada vez; o PME foi determinado por metodologia padrão, em escala laboratorial, utilizando eudiômetro (Santos, 2013).

Na análise laboratorial para parâmetros físico-químicos da mistura foram determinados: pH, acidez e alcalinidade, sólidos totais e voláteis do inóculo e das amostras recebidas (Kunz et al., 2019).

Foi utilizada a Norma Padrão Alemã VDI 4630 (Association of German Engineers, 2006) para preparação dos inóculos a partir de dejetos bovinos e da água de lavagem dos pisos do free stall. Foram adicionados quatro tipos de ingredientes/componentes diferentes, constituindo-se, assim, uma base nutricional para a microbiota presente no dejetos (Association of German Engineers, 2006).

A base nutricional se baseia em óleo (fonte de lipídio), silagem de milho (amido/fonte de carboidrato), leite em pó (fonte de proteína) e capim ou composto de forrageira (fonte de celulose/carboidrato complexo). Assim, as substituições feitas foram: (I) Gelatina (II) Bagaço de malte e (III) Celulose que substituíram alguns ingredientes, sendo (I) substituindo o leite em pó, (II) substituindo a silagem de milho, (III) substituindo o capim, um de cada vez e (IV) no lugar do composto forrageiro (Association of German Engineers, 2006).

Cada amostra foi testada de maneira individual, tendo um inóculo com abastecimento alterado e outro com abastecimento padrão como controle ou, branco. Isto é, a cada novo ciclo de abastecimento, a amostra era substituída e aclimatada ao novo abastecimento e retornando com o ingrediente que havia sido substituído, sendo que cada ciclo teve duração de 14 dias, contando sete dias seguidos com abastecimento dos inóculos e sete dias seguidos sem abastecê-los e, então, no 15º dia era adicionada “dose única” no inóculo de alimentação aclimatada com uma das amostras e o branco não recebia nenhum tratamento diferente além de ser, também, transferido para o eudiômetro.

Então, a produção de biogás foi mensurada diariamente a partir do deslocamento da coluna de água colorida, dentro do tubo do eudiômetro. Ao se estabilizar a produção de biogás, foi verificado seu valor acumulado, ou seja, foram somados os valores obtidos de cada deslocamento medido, durante aquele teste de capacidade metanogênica, junto à soma de dias que compunha o intervalo de tempo que foi feito.

Para determinar a quantidade de substrato para “dose única” e de inóculo deve-se seguir a proporção 1:2 de SV para SV do inóculo, seguindo a metodologia descrita na Norma alemã VDI 4630 (Association of German Engineers, 2006).

$$\frac{gSV_{substrato}}{gSV_{inóculo}} \leq 0,5$$

Para isso, os passos seguidos para a montagem do eudiômetro foram:

- 1) Determinar os teores de SV (%) do inóculo e dos substratos utilizados;
- 2) Determinar a massa de SV (gSV) na amostra de 200 mL de inóculo:
Massa de SV = Massa da amostra x Teor de SV da amostra
- 3) Calcular a massa de SV do substrato necessária para obter a proporção desejada (1:2)
Modo de calcular a massa mencionada no item 3:
Massa de substrato = massa de SV_{substrato}/teor de SV_{substrato}

Resultados e discussão

Com base nos resultados obtidos a partir das quatro amostras analisadas para expressão dos resultados, percebe-se a aplicabilidade da metodologia utilizada para avaliação da co-digestão anaeróbica de dejetos bovinos.

Na Tabela 1 e na Figura 1 estão apresentados os resultados de massa inicial utilizada, massa seca, cinzas, ST, SV e produção de biogás, respectivamente dos testes de PME, para amostras de gelatina, malte e celulose com relação à variação de deslocamento de biogás em mL diário e acumulado. Estes resultados foram obtidos em duplicata em comparação com uma amostra padrão (“Branco”).

Tabela 1. Característica de amostras e dos inóculos.

Substrato/Amostra	Inoculo 1	Gelatina	Inoculo 2	Malte	Inoculo 3	Celulose
Massa utilizada (g)	2,186	2,04495	2,01125	2,0219	2,02375	2,0155
Massa seca (g)	0,0526	1,8297	0,03525	1,8712	0,06525	1,9125
Massa cinza (g)	0,03185	0,002	0,02305	0,0688	0,05135	0,001
ST (%)	2,35	0,89484	1,755	0,9257	3,2	0,9491
SV (%)	1,465	0,89135	0,29	0,8908	2,535	0,9488

Inóculo 1 utilizado no ensaio de gelatina; Inóculo 2 utilizado no ensaio de malte; Inóculo 3 utilizado no ensaio de celulose.

Amostras	Produção de biogás diária (deslocamento em mL)																		Produção acumulada (mL)	Período					
	70	100	107	98	36	26	18	33	6	7	7	6	-	-	-	-	-	-			-				
GELATINA1																				514	17 dias				
GELATINA2	10	194	12	40	0	6	4	13	5	4	5	5	-	-	-	-	-	-	-	258					
BRANCO	10	0	6	8	6	5	4	18	4	8	5	4	-	-	-	-	-	-	-	78					
MALTE1	24	23	14	22	16	14	8	10	4	5	7	9	10	5	6	8	7	-	-	-	155	20 dias			
MALTE2	123	118	105	188	58	59	23	20	19	20	43	13	22	11	14	28	8	-	-	-	789				
BRANCO	6	0	6	5	5	8	4	5	4	5	10	2	2	5	4	7	2	-	-	-	60				
CELULOSE1	106	309	373	352	348	220	156	68	42	33	32	23	20	18	16	16	17	5	4	3	6	5	6	2168	23 dias
CELULOSE2	95	124	217	372	269	238	171	49	26	21	21	14	12	10	9	11	10	10	8	7	9	8	7	1716	
BRANCO	7	6	8	19	2	7	7	5	6	7	5	5	4	4	4	5	5	5	4	4	6	5	4	134	

Figura 1. Produção diária e acumulada das amostras.

Então, a partir dos resultados obtidos no período entre os dias 11/04 e 12/07/2023, foi possível compará-los com aqueles publicados no Relatório do Projeto Interlaboratorial (Bassani, 2023). Assim, os resultados foram 23,88 mL de deslocamento médio diário da amostra Gelatina; 23,6 mL de deslocamento médio diário da amostra Malte; e 84,44 mL de deslocamento médio diário da amostra Celulose. O valor médio de produção de biogás a partir da amostra Gelatina, Malte e Celulose foram respectivamente, 223,8907 mLNbio/gSV; 1420,6896 mLNbio/gSV e 713,2149 mLNbio/gSV. Essa conversão baseia-se no descolamento em mL, seguindo a equação, sugerida pelo Relatório do Projeto Interlaboratorial, 2023:

$$\frac{(\text{Produção total amostra} - \text{produção total branco})}{SV_{\text{inóculo}}}$$

Nesse caso, a partir do Relatório Projeto Interlaboratorial, as médias de produção de biogás obtidos pelas amostras Gelatina, Malte e Celulose, respectivamente, foram 554,4 mLNbio/gSV, 634,8 mLNbio/gSV e 713,6 mLNbio/gSV. Isso demonstra que somente a amostra de Celulose obteve bons resultados, ou seja, próximo ao esperado.

Em comparação entre os Sólidos Totais (ST) encontrados no laboratório, a partir das amostras Gelatina, Malte e Celulose expressos na Tabela 1, respectivamente, foram 0,894844 g(st)/g(a), 0,92569 g(st)/g(a), 0,949118 g(st)/g(a) e no Relatório do Projeto Interlaboratorial os ST expressos na devida ordem, 0,8935 g(st)/g(a), 0,9247 g(st)/g(a) e 0,9575 g(st)/g(a), pode-se considerar que esses parâmetros estão em conformidade.

Além disso, em relação aos Sólidos Voláteis (SV), como expressos na Tabela 1, foram obtidos os seguintes resultados: 0,891354 g(st)/g(a) para amostra Gelatina, 0,89081 g(st)/g(a) para Malte e 0,948819 g(st)/g(a) para Celulose, sendo que no relatório foram apresentados para as mesmas amostras, respectivamente, 0,9045 g(st)/g(a), 0,8721 g(st)/g(a), 0,9701 g(st)/g(a). Dessa forma, os resultados obtidos foram próximos aos parâmetros expressos pelo relatório do Projeto Interlaboratorial (Bassani, 2023).

Conclusões

Os resultados deste trabalho mostraram-se adequados ao que foi proposto como estudo de teste padrão para determinação do PME de amostras de biomassa em comparação ao relatório do Projeto Interlaboratorial, utilizado como referência. Após encontrar essa correlação, aumenta-se a possibilidade de aproveitamento de biomassa para a produção de biogás. Entretanto, precisa-se ainda continuar essa linha de pesquisa para encontrar a melhor alternativa de substrato possível a ser utilizado como fonte de energia na biodigestão anaeróbia. Concomitantemente a isso, poderá haver formação de recursos humanos pela oferta de estágio para níveis de graduação e de pós-graduação na área de estudos de Biodigestão Anaeróbica.

Agradecimentos

Ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil. O presente trabalho foi realizado com o apoio da Fapemig. Parte do projeto “Biodigestão anaeróbica de dejetos bovinos: eficiência energética, população microbiana e remoção de hormônios.” APQ-02872-18, liderado por Marcelo Henrique Otenio,

A Embrapa Gado de Leite pela oportunidade de treinamento. Ao analista Junior Fernandes Lima e estagiários, pelo apoio na condução do trabalho no Laboratório de Microbiologia do Rúmen.

Referências

ASSOCIATION OF GERMAN ENGINEERS. **VDI 4630 - Fermentation of organic materials**: characterization of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. Bremen, 2016. 132 p. ICS 13.030.30, 27.190.

BASSANI, J. C. **Programa de ensaios de proficiência biogás - BiogásFort**. Chapecó: Senai, 2023. 73 p.

CASSINI, S. T. **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: Abes: RiMa, 2003. 210 p.

KUNZ, A.; AMARAL, A. C. do; STEINMETZ, R. L. R. **Padronização de uso das unidades de medida em processos de produção de biogás**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2016. 4 p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 537).

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. 209 p.

SANTOS, J. B. dos. **Metodologia para determinação da produção de biogás**. 2013. 39 f. Monografia (Graduação em Tecnologia em Gestão Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira.

VAZOLLER, R. **Microbiologia da digestão anaeróbia**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1981. Manual CETESB 5308/N857m.