

Potencial de produção de biogás e biometano a partir da biomassa energética de genótipos de capim-elefante

Felipe Ferreira Coelho⁽¹⁾, Guilherme Henrique da Silva⁽²⁾, Edgard Henrique Oliveira Dias⁽³⁾, Marcelo Henrique Otenio⁽⁴⁾, Jailton da Costa Carneiro⁽⁴⁾ e Juarez Campolina Machado⁽⁴⁾

Bolsista (Pibic/Fapemig), Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG. ⁽²⁾Estagiário, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora, MG. ⁽³⁾Professor adjunto, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, MG. ⁽⁴⁾Pesquisador, Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora. e-mail: 6felipefc@gmail.com

Resumo — Os impactos ambientais severos decorrentes do uso de combustíveis fósseis evidenciam a urgência na busca por fontes de energia mais sustentáveis. Nesse cenário, a utilização de biomassa vegetal para geração de energia surge como alternativa promissora. O presente estudo tem por objetivo avaliar o potencial de produção de biogás e biometano de genótipos elite do programa de melhoramento de capim-elefante (*Cenchrus purpureus*), uma gramínea perene conhecida por sua alta produtividade. O experimento foi conduzido em laboratório, avaliando dez genótipos de capim-elefante em um ensaio de potencial bioquímico de biogás (PBB) por meio da digestão anaeróbia. Há variabilidade genética entre os genótipos de capim-elefante, evidenciando a importância da escolha do substrato adequado para maximizar a produção de biogás e biometano. Os resultados indicaram que o genótipo T 23.1 se destacou com a maior produção de biogás, atingindo 496,9 L.kgSV⁻¹, com valores de concentração de metano de 65%, além de apresentar a maior produtividade de matéria seca em campo. Conclui-se que o capim-elefante, especialmente o genótipo T 23.1, possui um elevado potencial como biomassa para geração de energia renovável, com destaque para a codigestão anaeróbia com resíduos orgânicos.

Termos para indexação: biodigestão, bioenergia, fermentação, lignocelulose, metanol.

Biogas and biomethane production potential from energetic biomass of elephant grass genotypes

Abstract — The severe environmental impacts resulting from the use of fossil fuels underscore the urgency of seeking more sustainable energy sources. In this context, the utilization of plant biomass for energy generation emerges as a promising alternative. This study aims to evaluate the biogas and biomethane production potential of elite genotypes from the elephant grass (*Cenchrus purpureus*) breeding program, a perennial grass known for its high productivity. The experiment was conducted in the laboratory, assessing ten genotypes of elephant grass in a biochemical biogas potential (BBP) assay through anaerobic digestion. There is genetic variability among elephant grass genotypes, highlighting the importance of choosing the appropriate substrate to maximize biogas and biomethane production. The results indicated that genotype T 23.1 stood out with the highest biogas production, reaching 496.9 L.kgSV⁻¹, with methane concentration values of 65%, in addition to presenting the highest dry matter productivity in the field. It is concluded that elephant grass, especially genotype T 23.1, has a high potential as biomass for renewable energy generation, with emphasis on anaerobic co-digestion with organic residues.

Index terms: biodigestion, bioenergy, fermentation, lignocellulose, methane.

Introdução

O Brasil apresenta 49,1% de participação de fontes renováveis em sua matriz energética, índice superior à média global de 14,7% (Empresa de Pesquisa Energética,

2024). As biomassas vegetais desempenham um papel central, respondendo por 18% da geração de energia no país e contribuindo para a redução da dependência de combustíveis fósseis. O uso dessas fontes está em expansão, especialmente em países com grandes indústrias agropecuárias, representando um fator de segurança energética que contribui para o atendimento da demanda de energia em áreas de difícil acesso (Freitas et al., 2022). Estudos têm sido realizados para investigar os benefícios da bioenergia, utilizando energia proveniente da biomassa animal e lignocelulósica, com o objetivo de tornar a conversão energética mais rentável e sustentável (Song et al., 2023). As biomassas vegetais podem ser utilizadas para a geração de energia a partir da digestão anaeróbia, processo no qual os substratos são degradados pela ação de microrganismos, produzindo biogás.

O capim-elefante (*Cenchrus purpureus*) é uma espécie promissora para utilização como biomassa para a geração de energia, particularmente, em função da alta produtividade, que é um fator crucial para assegurar o fornecimento constante de matéria-prima, atendendo de forma eficiente à demanda energética (Marafon et al., 2023). Além disso, apresenta caráter perene, boa adaptação aos diferentes tipos de clima e solo brasileiros, capacidade de rebrota e persistência, possibilitando que permaneça vários anos produzindo biomassa de qualidade (Marafon et al., 2023). Além disso, essa gramínea pode ser ensilada, para armazenamento e conservação das propriedades químicas, tornando possível atender à alimentação animal e à produção energética e proporcionando aproveitamento integral e diversificado da planta, o que aumenta a viabilidade econômica de sua exploração.

A codigestão de diferentes substratos aumenta a produção de biogás e a concentração de metano. A combinação de diferentes substratos equilibra os níveis de carbono e nitrogênio, otimiza o consumo por microrganismos e melhora a eficiência do processo (Karki et al., 2021). Além disso, a codigestão supera as limitações da monodigestão, promovendo um sistema mais eficiente. O presente trabalho tem como objetivo avaliar o potencial de produção de biogás e biometano de genótipos elite do programa de melhoramento de capim-elefante (*Cenchrus purpureus*) da Embrapa.

Os resultados desse trabalho 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, sobretudo nos seguintes objetivos específicos: ODS 2: Fome Zero e Agricultura Sustentável e ODS 7: Energia Acessível e Limpa.

Material e métodos

O experimento foi conduzido no Campo Experimental José Henrique Bruschi, propriedade da Embrapa Gado de Leite, localizado em Coronel Pacheco, MG, (21°33'22" de latitude sul, 43°06'15" de longitude oeste e 410 m de altitude). Foram avaliados oito genótipos elite do programa de melhoramento de capim-elefante da Embrapa com características de destaque para a produção de bioenergia: T 12.9, T HE10, T 23.1, T 47.1, T 25.11, T 41.2, T 44.1, PCEC e duas cultivares testemunhas, BRS Coronel e BRS Capiapu. As amostras foram coletadas 105 dias após o plantio, cortadas a uma altura de aproximadamente de 15 cm do solo. O delineamento experimental foi de blocos casualizados com três repetições, sendo cada parcela composta por quatro linhas de 6,0 m de comprimento, com espaçamento de 1,0 m entre as linhas.

A determinação dos teores de açúcares solúveis (°Brix) foi realizada utilizando um refratômetro digital. As amostras foram picadas em um picador forrageiro, resultando em partículas de aproximadamente 2 cm. Subamostras foram pesadas e secas em estufa a 65 °C por 72 horas. Após a secagem, foi feita nova pesagem para determinar o teor

de matéria seca (% MS) e a produtividade de matéria seca (PMS) (Silva; Queiroz, 2006). As amostras secas foram moídas em moinho tipo Willey com peneira MESH 32 (0,50 mm) e enviadas ao Laboratório de Análise de Alimentos da Embrapa Gado de Leite para caracterização físico-química. As análises incluíram Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV), Sólidos Fixos (SF), conforme Lipps et al. (2022), além de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e teor de lignina (LIG) pelo método de Van Soest adaptado (Silva; Queiroz, 2006). O teor de proteína bruta (PB) foi determinado pelo método de Kjeldahl (Galvani; Gaertner, 2006), e os teores de celulose (CEL) e hemicelulose (HCEL) foram calculados com base nas diferenças entre FDA e LIG, e entre FDN e FDA, respectivamente.

O resultado do teste de potencial bioquímico de biogás (PBB) foi expresso em $L.kgSV^{-1}$, obtido a partir da produção de biogás acumulada da amostra, descontando-se a produção referente ao inóculo (branco), dividida pela massa de sólidos voláteis de substrato adicionada (Verein Deutscher Ingenieure, 2016). O ensaio de PBB foi realizado em reatores anaeróbios de escala laboratorial, em batelada, sob condições controladas de temperatura (37 °C) e agitação (100 rpm). O equipamento *Nautilus* (Anaero Technology) apresenta um banho-maria, onde são dispostos até 15 frascos com as amostras, e um agitador mecânico. O inóculo utilizado nos ensaios foi composto por dejetos de bovinos diluídos em água de lavagem dos currais do CEJHB, o qual foi aclimatado e enriquecido por 14 dias (Steinmetz et al., 2016). Para o ensaio de PBB, amostras de capim-elefante moído e homogeneizado foram preparadas em triplicata, sendo misturadas a 200 g de inóculo. Também foram preparados brancos, contendo apenas inóculo. Cada ensaio experimental durou 21 dias. Amostras de biogás de cada um dos frascos reatores foram coletadas aos 7, 14 e 21 dias de ensaio para análise de cromatografia e determinação das concentrações de metano. Os resultados da produção de biogás obtidos, assim como os dados das análises de caracterização físico-química da biomassa, foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias foram comparadas pelo teste de Scott & Knott a 5% de significância.

Resultados e discussão

Os resultados de caracterização físico-química da biomassa dos dez genótipos de capim-elefante estão apresentados na Tabela 1. O valor de PMS variou de 29,5 a 41,1 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$, com destaque para o genótipo T 23.1, que obteve o resultado mais elevado. Esses valores estão de acordo com a literatura, que indica que o capim-elefante pode produzir até 50 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$ de matéria seca (Marafon et al., 2023), e ratificam a espécie como destaque em termos de produção de biomassa, com produtividade acima de outras espécies, como o sorgo (25 a 40 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$), o eucalipto (15 a 20 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$) e o bagaço de cana-de-açúcar (15 a 20 $t.ha^{-1}.ano^{-1}$). O genótipo T 23.1 apresentou maior valor de MS e seu teor de lignina ficou abaixo de 10%. A MS e a lignina afetam negativamente a degradabilidade da biomassa, pois plantas com altos teores desses componentes têm células mais difíceis de serem decompostas. O genótipo T_HE10 apresentou as maiores concentrações de MS e lignina, diferenciando-se significativamente em relação aos demais. A concentração de cinzas (CZ) está negativamente correlacionada aos processos fermentativos e à produção de biogás, pois representa a fração de sólidos da biomassa que não se volatiliza (Verein Deutscher Ingenieure, 2016).

Tabela 1. Caracterização físico-química dos genótipos de capim-elefante.

Genótipo	PMS (t.ha ⁻¹ .ano ⁻¹)	MS (%)	CZ (%)	PB (%)	Brix (°Bx)	CEL (%)	HCEL (%)	LIG (%)
T_12.9	32,6 b	22,7 c	6,0 ^{ns}	5,7 a	5,0 a	39,2 ^{ns}	29,0 a	7,5 b
T_HE10	36,6 a	27,0 a	5,1	4,4 b	5,9 a	41,7	27,2 b	10,5 a
T_23.1	41,1 a	20,7 c	5,4	6,4 a	6,1 a	38,9	26,5 b	7,8 b
T_47.1	38,9 a	23,7 c	6,2	4,4 b	6,2 a	39,7	26,6 b	8,4 b
T_25.11	37,1 a	22,7 c	5,6	5,8 a	6,2 a	40,3	26,5 b	7,6 b
T_41.2	33,8 b	23,0 c	5,2	4,9 b	6,1 a	38,0	26,5 b	7,3 b
T_44.1	30,1 b	23,7 c	7,1	7,1 a	6,5 a	36,6	28,4 a	6,9 b
PCEC	37,6 a	24,7 b	6,3	6,3 a	6,2 a	37,8	31,2 a	6,7 b
BRS Coronel	29,5 b	22,0 c	7,7	6,6 a	6,6 a	39,5	27,2 b	6,9 b
BRS Capiáçu	35,7 a	24,3 b	6,5	4,7 b	6,4 a	39,2	28,6 a	7,6 b

Médias seguidas pela mesma letra formam o mesmo grupo pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade. PMS = Produtividade de matéria seca; MS = Matéria seca; CZ = Cinzas; PB = Proteína bruta; CEL = Celulose; HCEL = Hemicelulose; LIG = Lignina. ns = não significativa.

O genótipo T 23.1, obteve destaque para potencial bioquímico de biogás e produtividade de matéria seca (Tabela 2). O potencial de produção de biogás, considerando a produção de matéria seca (PBBPMS), foi estimado em 17.973,5 m³.ha⁻¹.ano⁻¹ para o genótipo T 23.1, evidenciando sua boa capacidade de gerar biogás.

Tabela 2. Caracterização físico-química dos genótipos de capim-elefante.

Genótipo	PBB (L.kgSV ⁻¹)	PBBPMS (m ³ .ha ⁻¹ .ano ⁻¹)
T_12.9	361,5 a	10.312,6 b
T_HE10	278,6 c	9.021,6 b
T_23.1	496,9 a	17.973,5 a
T_47.1	206,6 d	7.036,2 c
T_25.11	139,6 d	4.566,6 d
T_41.2	325,4 b	9.795,0 b
T_44.1	198,3 d	5.178,1 d
PCEC	328,6 b	10.840,3 b
BRS Coronel	285,9 c	7.281,2 c
BRS Capiáçu	243,6 c	7.615,6 c

Médias seguidas pela mesma letra formam o mesmo grupo pelo teste de Scott & Knott a 5% de probabilidade. PBB = Potencial bioquímico de biogás; PBBPMS = Potencial bioquímico de biogás considerando PMS; PMS = produção de matéria seca.

A Figura 1 apresenta o PBB dos genótipos avaliados ao longo do ensaio, bem como os resultados de concentração de metano (CH_4) nas amostras coletadas aos 7, 14 e 21 dias do experimento (Figura 1.a). Os genótipos T 23.1 e T 12.9 se destacaram, alcançando valores de concentração de metano de 65% no 21º dia (Figura 1.b), além de serem os que alcançaram os maiores resultados de PBB.

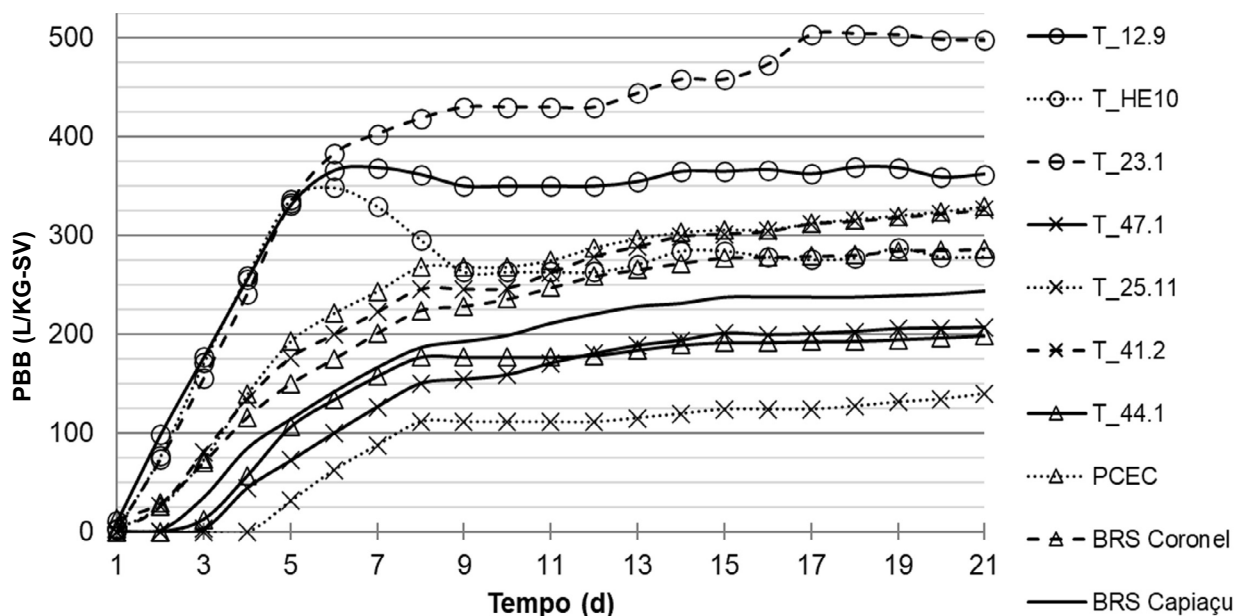


Figura 1. Potencial bioquímico de biogás (PBB) para cada genótipo de capim-elefante ao longo dos dias de experimento.

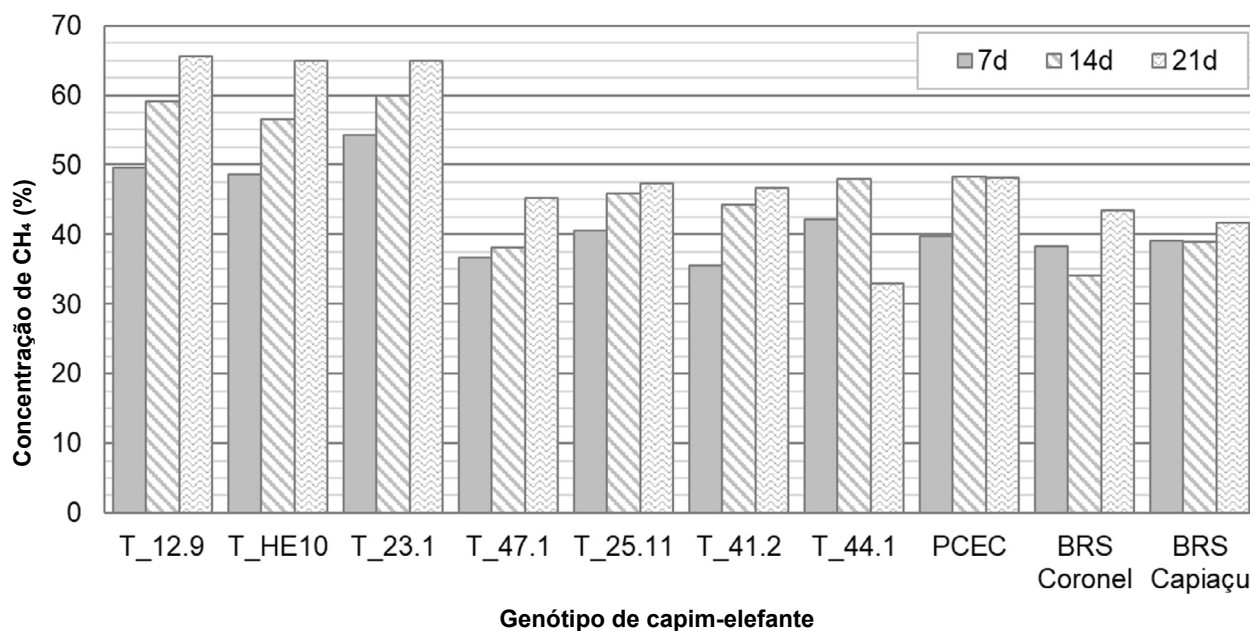


Figura 2. Teores de metano (%) aos 7, 14 e aos 21 dias de experimento.

Conclusões

A avaliação do capim-elefante como substrato para produção de biogás demonstrou resultados promissores. O genótipo T 23.1 destacou-se significativamente em relação aos demais, com PBB de $496,9 \text{ L.kgSV}^{-1}$ e PBBPMS estimado de $17.973,5 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, com

concentrações de metano de 65%. Sugere-se que pesquisas futuras explorem a codigestão anaeróbia do genótipo T 23.1 com outros substratos de interesse, com o objetivo de identificar as melhores estratégias de uso e sua aplicação em escalas maiores.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA), e aos órgãos de fomento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (Fapemig).

Referências

- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2024**: ano base 2023. Rio de Janeiro, 2024. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2024>. Acesso em: 22 set. 2024.
- FREITAS, F. F.; FURTADO, A. C.; PIÑAS, J. A. V.; VENTURINI, O. J.; BARROS, R. M.; LORA, E. E. S. Holistic Life Cycle Assessment of a biogas-based electricity generation plant in a pig farm considering co-digestion and an additive. **Energy**, v. 261, pt. B, 125340, 2022. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125340>.
- GALVANI, F.; GAERTNER, E. **Adequação da metodologia Kjeldahl para determinação de nitrogênio total e proteína bruta**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006. 9 p. (Embrapa Pantanal. Circular Técnica, 63). Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/812198>. Acesso em: 22 set. 2024.
- KARKI, R.; CHUENCHART, W.; SURENDRA, K. C.; SHRESTHA, S.; RASKIN, L.; SUNG, S.; HASHIMOTO, A.; KHANAL, S. K. Anaerobic co-digestion: Current status and perspectives. **Bioresource Technology**, v. 330, 125001, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.125001>.
- LIPPS, W. C.; BRAUN-HOWLAND, E. B.; BAXTER, T. E. (ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 24th ed. Washington: American Public Health Association; Denver: American Water Works Association; Alexandria: Water Environment Federation, 2022.
- MARAFON, A. C.; MACHADO, J. C.; CAMARA, T. M. M.; SILVA, S. R. da; ADANIYA, R. K. Variedades elite de capim-elefante com alto rendimento de biomassa no semiárido de Alagoas, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 22., 2023, Natal. **A agrometeorologia e a agropecuária: adaptação às mudanças climáticas**. Anais... Serra Talhada: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 2023. p. 1393-1400.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. de. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2006. 235 p.
- SONG, Y.; PEI, L.; CHEN, G.; MU, L.; YAN, B.; LI, H.; ZHOU, T. Recent advancements in strategies to improve anaerobic digestion of perennial energy grasses for enhanced methane production. **Science of the Total Environment**, v. 861, 160552, 2023. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160552>
- STEINMETZ, R. L. R.; MEZZARI, M. P.; SILVA, M. L. B. da; KUNZ, H.; AMARAL, A. C. do; TÁPPARO, D. C.; SOARES, H. M. Enrichment and acclimation of an anaerobic mesophilic microorganism's inoculum for standardization of BMP assays. **Bioresource Technology**, v. 219, p. 21-28, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.031>.
- VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. **VDI 4630 - Fermentation of organic materials**: characterization of the substrate, sampling collection of material data and fermentation tests. Düsseldorf, Germany, 2016.