

CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS DO BENEFICIAMENTO DO CAFÉ E DA BOVINOCULTURA

**JULIANA LOBO PAES¹, PEDRO LUIS BELFORT GOMES FERNANDES²,
MAXMILLIAN A. DE O. MERLO², BEATRIZ COSTALONGA VARGAS³**

¹ Enga Agrícola e Ambiental, Profa. Dra. Associada, Depto. de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRRJ, Seropédica-RJ, Fone: (021) 2682-1864. E-mail: juliana.lobop@gmail.com.

² Engenheiro Agrícola e Ambiental, UFRRJ, Seropédica- RJ

³ Doutoranda em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, UFV, Viçosa – MG

Apresentado no
LI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola - CONBEA 2022
27 a 29 de outubro de 2022 - Pelotas - RS, Brasil

RESUMO: Objetivou-se avaliar a codigestão anaeróbia da casca de café úmida (CCU) com dejetos bovinos (DB) por meio das características físico-químicas do substrato e digestato e o potencial de produção de biogás. Utilizou-se biodigestores de bancada modelo indiano abastecidos com 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 CCU:DB. A caracterização físico-química foi realizada pelo potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica e teor de sólidos totais voláteis e o potencial de biogás pela produção semanal e teste de queima. Durante a primeira semana foi constatada produção de biogás na ausência de metano para todas as relações de estudo, com exceção da relação 75:25. A relação 0:100 CCU:DB teve pico de produção de gás durante a quarta semana do experimento, com presença de metano a partir da oitava semana. A relação 25:75 CCU:DB alcançou o pico da produção de biogás com presença de metano a partir da nona semana. As demais relações, 100:0, 25:75 e 50:50 CCU:DB tiveram seu pico de produção de gás durante a primeira semana de experimento. Conclui-se que casca de café úmida como codigestante do dejetos bovinos pode apresentar elevado potencial de produção de biogás, convertendo-se de passivo a ativo ambiental.

PALAVRAS-CHAVE: biomassa lignocelulósica, biogás, energia renovável

ANAEROBIC CODIGESTION OF WASTE FROM COFFEE PROCESSING AND CATTLE MANURE

ABSTRACT: The objective was to evaluate the anaerobic co-digestion of wet coffee husk (WCH) with cattle manure (CM) through the physicochemical characteristics of the substrate and digestate and the potential for biogas production. Indian model benchtop biodigesters filled with 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 CCU:DB were used. The physicochemical characterization was performed by hydrogenion potential, electrical conductivity and total volatile solids and biogas potential by weekly production and burning test. During the first week, biogas production was observed in the absence of methane for all study ratios, with the exception of the 75:25 ratio. The 0:100 WCH:CM ratio had a peak of gas production during the fourth week of the experiment, with the presence of methane from the eighth week. The 25:75 WCH:CM ratio reached the peak of biogas production with the presence of methane from the ninth week. The other ratios, 100:0, 25:75 and 50:50 WCH:CM had their peak gas production during the first week of the experiment. It is concluded that wet coffee husk as a

co-digestant of bovine manure may have a high potential for biogas production, converting from a passive to an environmental asset.

KEYWORDS: lignocellulosic biomass, biogas, methane, renewable energy

INTRODUÇÃO: Estima-se que o ano cafeeiro de 2020-2021 mundial obteve um volume físico equivalente a 169,64 milhões de sacas de 60 kg, configurando um aumento de 0,4% em relação ao mesmo período anterior (EMBRAPA, 2021a). O primeiro levantamento da safra brasileira de café em 2022 tem área destinada à produção de 1,82 milhões de hectares e produção estimada em 55.743 mil sacas de café beneficiado, representando aumento de 16,8% em comparação a 2021 (CONAB, 2022). Resíduos da produção animal, como os dejetos bovinos (DB), representam grande quantidade de biomassa, sendo sua reciclagem importante por aspectos econômicos e ambientais. A bovinocultura leiteira é considerada uma das mais importantes cadeias produtivas no Brasil, em 2020 a disponibilidade de leite no Brasil aumentou 2,8%, com volume de 734,08 milhões de litros superior a 2019, onde foram ordenhadas 16,1 milhões de vacas (EMBRAPA, 2021b; CNA, 2021). No geral, o aumento na demanda dos setores produtivos acarreta na geração de passivos ambientais com potencial de conversão energética da biomassa em biogás. Nesse sentido, a digestão anaeróbia pode ser considerada um possível destino final para substratos agropecuários como da pecuária leiteira e cafeicultura, sendo capaz de produzir biogás e biofertilizante. O tratamento de resíduos sólidos de atividades agroindustriais visando sua conversão em biogás e biofertilizante abate custos para o produtor e reduz a emissão de gases do efeito estufa (Silva et al., 2019). A monodigestão anaeróbia (MoDA) da casca de café úmida pode dificultar o processo de digestão anaeróbia devido a sua composição química lignocelulósica e rica em carboidratos. Durante a etapa de hidrólise, os carboidratos são reduzidos a ácidos graxos voláteis que em excesso diminuem o pH inibindo o desenvolvimento de bactérias metanogênicas (Paranhos et al., 2020). Na literatura, muito se tem pesquisado formas de aumentar a eficiência da produção de metano (Abanades et al., 2022). Nesse sentido, o processo de codigestão (CoDA) pode potencializar a produção de biogás a partir da introdução de biomassa na presença de nitrogênio balanceando a relação carbono e nitrogênio (C:N) no substrato (Karlsson et al., 2014). Nesse sentido, o processo de codigestão anaeróbia da casca de café e dejetos bovinos pode potencializar a produção de biogás. A adição de dejetos bovinos em codigestão com a casca de café úmida, além de adicionar nitrogênio favorecendo a relação carbono/nitrogênio, pode ser uma possibilidade viável de estabilização dos compostos tóxicos e digestibilidade do substrato para cumprimento das etapas da digestão anaeróbia. Dessa forma, objetivou-se com o presente trabalho avaliar a codigestão anaeróbia da casca de café úmida e dejetos bovinos.

MATERIAL E MÉTODOS: O experimento foi realizado nos Laboratórios de Pesquisas Multiusuários do Grupo de Energias Renováveis e Alternativas Rurais (LabGERAR), da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. A casca de café utilizada no experimento foi oriunda do trabalho desenvolvido por Paes et al. (2020) visando a secagem solar de grãos orgânicos da variedade conilon (*Coffea canephora*). Os frutos da cultivar Emcapa 8121 foram colhidos manualmente, em julho de 2018, com teor inicial de água de $88 \pm 1\%$ bs (base seca), sendo provenientes da Fazendinha Agroecológica km 49, localizada no município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro. Durante o processo de colheita foram eliminados os frutos imaturos, deteriorados ou danificados, com o intuito de se obter material homogêneo e de melhor qualidade. Após o processo de seleção, foi realizado o preparo dos lotes de café despulpado por via úmida. O despulpamento ocorreu manualmente com imersão dos frutos de café em água por 24 h para a remoção da mucilagem e a casca de café atingiu umidade de

76% base úmida (b.u). A casca de café úmida obtida pelo processo de despulpamento foi congelada com objetivo de reduzir a descaracterização da biomassa durante o abastecimento. O dejetto bovino foi coletado na Bovinocultura de Leite da UFRRJ, com auxílio de uma pá de pedreiro e bombonas de PVC para o armazenamento e transporte, evitando-se materiais estranhos (solo, pasto e pedra). A bovinocultura leiteira da UFRRJ adota sistema convencional de produção, em que os animais são alimentados com capim da Tanzânia (*Panicum maximum*), com milho, farelo de soja e farelo de trigo. A água mineral foi adicionada no substrato contendo dejetto bovino e casca de café úmida a fim de que o material de entrada atingisse teor de sólido total em torno de 10%. Foi adotado água mineral por se tratar de um processo experimental. Utilizou-se biodigestor anaeróbico de bancada modelo indiano, sendo constituído por câmara de contenção do “selo de água”, câmara de digestão anaeróbica e gasômetro com régua em seu exterior e mola de alumínio no interior. A câmara de digestão anaeróbica foi utilizada para acondicionar o substrato e o gasômetro para armazenar o biogás produzido. Os biodigestores anaeróbicos modelo indiano de bancada foram abastecidos em batelada com 1,7 kg de substrato nas relações 100:0 e 0:100 CCU:DB como testemunha para MoDA, e 75:25, 50:50 e 25:75 CCU:DB para CoDA. No momento do abastecimento considerou-se o tempo de retenção hidráulico (TRH) como zero. Após o TRH de 16 semanas de experimento, os biodigestores anaeróbicos foram abertos e o digestato recolhido (resíduo do processo de DA). O sólido total dos substratos foi padronizado para a faixa de 10 a 11%. Avaliou-se as características físico-química do substrato e digestato no biodigestor anaeróbico pelo potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE) e teor de sólidos totais voláteis (STV) (APHA, 2005), sendo realizados em triplicata para cada biodigestor anaeróbico. O biogás gerado no processo de CoDA de casca de café úmida e dejetto de bovino em biodigestores anaeróbicos foi analisado quanto a produção semanal (PS). As coletas de dados foram realizadas as segundas-feiras e quintas-feiras às 12:00 h. Finalizada as mensurações, os gasômetros de cada biodigestor anaeróbico foram esvaziados, por meio do registro de descarga do biogás (válvula de três vias). O teste de queima foi realizado após as mensurações nos biodigestores anaeróbico, no momento de esvaziamento do gasômetro, por meio do registro de descarga. O teste foi realizado por meio de um bico de Bunsen, em que acoplou-se uma mangueira à saída de biogás, com a finalidade da detecção ou não do metano no biogás (Costa et al., 2013). Se ao colocar fogo no bico de Bunsen a chama continuasse acesa, confirmava-se a queima. Para a avaliação dos resultados foi adotado delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, com cinco relações (100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 CCU:DB) e dois tempos de análise (substrato e digestato), cada relação em triplicata. Adotou-se análise de variância seguido do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade pelo programa estatístico SISVAR para caracterização físico-químicas do substrato e digestato.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os substratos 0:100 e 25:75 CCU:DB enquadraram-se dentro da faixa ideal de pH para produção de biogás (Tabela 1), conforme relatado por Gonçalves et al. (2021). No entanto, o aumento da proporção da casca de café como codigestante reduz os valores médios de pH no substrato e digestato (Tabela 1). Provavelmente, a acidificação do meio pode ser oriunda do pH ácido da CCU como codigestante, implicando na redução dos valores médios do substrato e digestato. No que tange a CE, observa-se que as relações 0:100, 25:75 e 50:50 CCU:DB foram estatisticamente superiores a 75:25 e 100:0 CCU:DB, tanto no substrato quanto no digestato (Tabela 1). Já ao comparar o substrato com o digestato, observa-se redução da CE. Esse comportamento pode ocorrer devido a redução da quantidade de sais dissolvidos durante o processo de digestão anaeróbica (Matos et al., 2017). Os valores obtidos encontram-se na faixa dada como usual na água de irrigação, tratando-se de CE, a variar entre 0 e 3 dS m⁻¹ (Almeida, 2010). A CCU

possui concentração de STV ideal para a produção de biogás, sendo que a adição de DB permite o acesso aos principais compostos para a produção de biogás.

Tabela 1. Valores médios de potencial hidrogeniônico (pH), condutividade elétrica (CE) e sólido totais voláteis (STV) no substrato (S) e digestato (D) de casca de café úmida (CCU) e dejetos bovinos (DB)

Relação CCU:DB	pH		CE (dS m ⁻¹)		STV (%)	
	S	D	S	D	S	D
100:0	5,23Ad	4,55Bd	8,55Aa	7,56Aa	1,19Ab	1,06Bb
75:25	5,35Ac	4,38Be	10,09Aa	9,08Aa	1,29Ab	1,11Bb
50:50	5,30Acd	4,89Bc	8,84Aa	7,72Aa	1,44Aa	1,31Ba
25:75	6,78Ab	5,39Bb	9,34Aa	8,89Aa	1,46Aa	1,23Ba
0:100	7,04Aa	5,49Ba	9,48Aa	8,67Aa	1,43Aa	1,30Ba

Médias seguidas de letras maiúsculas distintas na mesma linha diferem estatisticamente entre si na comparação entre substrato (S) e digestato (D) pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro. Médias seguidas de letras minúsculas distintas na mesma coluna representam diferenças significativas entre relações CCU:DB pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade de erro.

Observa-se na Figura 1, que as relações 50:50, 25:75 e 0:100, apresentaram produção de gás na primeira semana, seguida de queda para valores nulos na segunda semana. Para a MoDA com casca de café o valor nulo foi alcançado da terceira até a décima sexta semana de digestão anaeróbica. Já a CoDA com dejetos bovinos, retornou a produção de gás a partir da segunda semana. Apenas as relações 25:75 e 0:100 CCU:DB produziram biogás ao longo do TRH. As demais relações apresentaram apenas produção de gás, não apresentando queima ao entrar em contato com uma fonte externa de ignição (Figura 1). Considera-se como biogás, todo gás que tem percentual de metano suficiente para que haja sua combustão quando em contato com uma fonte externa. O biogás é composto geralmente por metano (50% - 75%), dióxido de carbono (25% - 50%) e em pequenas quantidades de hidrogênio, sulfeto de hidrogênio, amônia e outros gases (FNR, 2010).

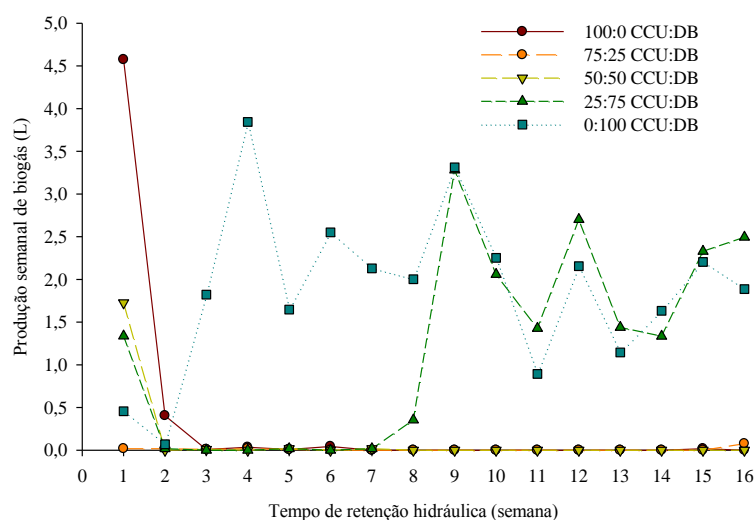


Figura 1. Produção semanal de biogás (L) em função do tempo de retenção hidráulica (semana).

Possivelmente, as relações com concentração acima de 50% de CCU alcançaram valores nulos de produção de gás devido a presença de lignina que causa efeito enrijecedor, capaz de interferir na degradação enzimática e na oxidação da parede celular da CCU (Paranhos et al., 2020). Ainda, os taninos e a cafeína presentes na CCU prejudicam o processo de DA uma vez que inibem a digestão enzimática durante a hidrólise e influenciam o pH do substrato impedindo o desenvolvimento de bactérias acidogênicas (Widjaja et al., 2019). Provavelmente o gás produzido é composto principalmente de CO₂, uma vez que a lignina necessita de maior tempo para ser hidrolisada, muitas vezes de maneira incompleta (Amaral et al., 2019). Além disso, a reduzida taxa de hidrólise pode estar atrelada ao baixo pH dos substratos (Tabela 1) e a degradação de polissacarídeos e carboidratos presentes no substrato lignocelulósico da CCU podendo implicar no início da fase lag do processo de DA. Verificou-se na literatura que poucos trabalhos avaliam de fato a produção de biogás no início da DA, podendo assim, comprometer os resultados. Uma vez que o início da DA é caracterizado pela redução de carboidratos, proteínas e gorduras em monômeros por bactérias hidrofílicas que durante a etapa de acidogênese tem como um dos produtos do processo CO₂ o que não configura a presença de biogás segundo sua definição (FNR, 2010). No que tange a produção de biogás, 0:100 CCU:DB apresentou menor tempo de partida quando comparada com 25:75 CCU:DB, porém ambas relações apresentaram pico principal de produção de biogás de 3,4 L na nona semana e produção acumulada final próximas, sendo de 17,4 e 17,1 L, respectivamente. Analisando a relação 25:75 CCU:DB, pode-se inferir que o DB confere à CCU compostos orgânicos que corrigem o pH e consomem a lignina do substrato favorecendo a produção de biogás.

CONCLUSÕES: Conclui-se que o DB possui microbiota favorável à produção de biogás devido ao seu ecossistema digestivo de bactérias, fungos e protozoários capazes de aumentar a digestão e estabilidade do processo de DA na presença da lignina e compostos tóxicos da CCU, sendo a relação 25:75 CCU:DB detentora do maior potencial de produção de biogás.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem ao GERAR e ao Café Rural da UFRRJ pela oportunidade e à FAPERJ pelo financiamento da pesquisa.

REFERÊNCIAS: Abanades, S.; Abbaspour, H.; Ahmadi, A.; Das, B.; Ehyaei, M.A.; Esmaeilion, F.; Silveira, J.L. A conceptual review of sustainable electrical power generation from biogas. *Energy Science & Engineering*, v. 10, n. 2, p. 630-655, 2022.

Almeida, O. Á. Qualidade da água de irrigação. 1.ed. Cruz das Almas: Embrapa Mandiocas e Fruticultura, 2010. 234p.

APHA; AWWA; WCPF (2005) Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Edition. Washington. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington-DC, USA.

CNA. Instituição. Comunicado Técnico. Pesquisa Pecuária Municipal 2020, [s. l.], ed. 30/2021, 1 out. 2021. Disponível em: www.cnabrazil.org.br. Acesso em: 23 junho 2022.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira de café, Brasília, DF, v.9 safra 2022, n. 1, primeiro levantamento janeiro 2022.

Costa, L. V. C. D.; Moghrabi, J. D. A.; Sagula, A. L.; Lucas Júnior, J. D. Tratamento anaeróbico da água residuária de frigorífico com uso de biodigestores: utilização de remediadores biológicos para produção de biogás. *Revista Brasileira de Engenharia de Biossistemas*, p. 77-85, 2013.

EMBRAPA. Empresa. Produção mundial de café foi estimada em 170 milhões de sacas. [S. l.]: Embrapa, 16 nov. 2021a. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/66204043/producao-mundial-de-cafe-foi-estimada-em-170-milhoes-de-sacas>. Acesso em: 23 junho 2022.

EMBRAPA. Empresa. Cresce a oferta de leite em tempos de pandemia. Anuário Leite 2021, [s. l.], p. 8-9, 2021b. Disponível em: embrapa.br/gado-de-leite. Acesso em: 23 junho 2022.

FNR - Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Guia prático do biogás - geração e utilização. 5.ed. Gülzow: Ministério da Nutrição, Agricultura e Defesa do Consumidor da Alemanha, 2010. 236p.

Gonçalves, F.S.; Santos Ramalho, A.R. Biodigestão anaeróbia da manipueira gerada na casa de farinha no município de Branquinha/AL, Brasil. *Diversitas Journal*, v.6, n.1, p.36-47, 2021.

Matos, C.F.; Pinheiro, E.F. M.; Paes, J.L.; Lima, E.; Campos, D.V.B. Avaliação do potencial de uso de biofertilizante de esterco bovino resultante do sistema de manejo orgânico e convencional da produção de leite. *Revista Virtual de Química*, v. 9, p. 1957-1969, 2017.

Paes, J.L.; Vargas, B.C.; Cunha, J.P.B.; Silva, D.S.C.; Ferraz, G.A.S.; Braz, M.R.S.; Conti, L.; Rossi, G. Thermal performance of a solar hybrid dryer for Conilon coffee (*Coffea canephora*). *Agronomy Research*, v. 18, n.3, p. 2166-2184, 2020.

Paranhos, A. G. O.; Adarme, O. F. H.; Barreto, G. F.; de Queiroz Silva, S.; de Aquino, S. F. Methane production by co-digestion of poultry manure and lignocellulosic biomass: Kinetic and energy assessment. *Bioresource Technology*, v. 300, p. 1-11, 2020.

Silva, W. D.; Tonani, F. L.; Evaristo, A. B.; Predoza, M. M. Potencial de dejetos bovinos para produção de biogás. In: 10^a JICE - Jornada de Iniciação Científica e Extensão, 2019, Tocantins. p. 1-8.