

# A análise bromatológica como ferramenta para a determinação do potencial bioquímico de metano (PBM) de resíduos do beneficiamento da mandioca da agricultura familiar goiana

Artículo largo



Sara Duarte Sacho\* ; Karla Emmanuela Ribeiro Hora ; Joachim Werner Zang ;  
Warde Antonieta da Fonseca Zang 

Universidade Federal de Goiás, Brasil

\*sachosara@hotmail.com

## Resumo

A literatura sobre a produção de biogás aponta o surgimento de uma diversidade de métodos alternativos para a determinação do potencial bioquímico de metano (PBM), que surgem orientados especialmente por condições locais de pesquisa, como também para a redução do tempo e recursos financeiros e humanos, despendidos na aplicação dos métodos experimentais convencionais. Nessa direção, este artigo apresenta a metodologia concebida no âmbito do desenvolvimento de um projeto de pesquisa dedicado ao tema do aproveitamento energético dos resíduos do processo de beneficiamento da mandioca em uma cooperativa da agricultura familiar goiana, localizada no centro-oeste brasileiro. Como resultado, propõe-se um procedimento para a utilização dos resultados da análise bromatológica como valor de entrada para a aplicação de dois métodos teóricos de determinação do PBM encontrados na literatura, visto a acessibilidade e praticidade dos serviços oferecidos pelos laboratórios de agropecuária, conforme verificado no contexto das condições de pesquisa do estudo de caso.

### Palavras-chave:

Análise bromatológica;  
Potencial Bioquímico  
de Metano (PBM);  
Biogás; Mandioca.

## Bromatological analysis as a tool for the determination of the Biochemical Potential of Methane (PBM) of residues of cassava processing of Goiás family farming

### Abstract

The literature on biogas production points to the emergence of a variety of alternative methods for determining the biochemical potential of methane (BMP), which are oriented especially by local research conditions, as well as reducing time, financial and human resources expended in the application of conventional experimental methods. This article presents the methodology conceived within a research project dedicated to the theme of energy use of residues from the cassava generating process in a family farming cooperative in Goiás, located in the center-west of Brazil. As a result, a procedure is proposed for using the outcomes of the bromatological analysis as an input value for the application of two theoretical methods of BMP determination found in the literature, given the accessibility and practicality of the services offered by the laboratories from agriculture, as verified in the context of the research conditions of the case study.

### Keywords:

Macromolecular  
composition;  
Biochemical Potential  
of Methane; Biogas;  
Cassava.

**Forma de citar:** Duarte Sacho, S., Ribeiro Hora, K. E., Werner Zang, J., da Fonseca Zang, W. A. (2022). A análise bromatológica como ferramenta para a determinação do Potencial Bioquímico de Metano (PBM) de resíduos do beneficiamento da mandioca da agricultura familiar goiana. RedBioLAC, 6(2), 32-37.

## Introdução

A determinação do Potencial Bioquímico de Metano (PBM) é reconhecida enquanto um parâmetro fundamental para analisar o aproveitamento energético da produção de biogás a partir de diferentes substratos; alternativas de codigestão e inóculos; como também para o dimensionamento e design de biodigestores (Holliger *et al.*, 2016; Liebetrau *et al.*, 2020; VDI, 2006; 2016). Nesse caminho, a literatura revela uma diversidade metodológica que vem sendo aplicada nas pesquisas sobre digestão anaeróbia, que emerge de uma variedade de características dos substratos, técnicas aplicadas e condições de cada pesquisa em desenvolvimento. Entre outras questões, isso acontece porque os métodos utilizados no setor foram derivados de outros campos científicos, como na gestão de resíduos ou indústria química, por exemplo, e na grande maioria dos casos precisam ser adaptados (Liebetrau *et al.*, 2020). Assim, os pesquisadores buscam novas possibilidades para determinar o PBM a cada dia, de acordo com as características particulares de cada pesquisa, substrato, região, condições do laboratório, materiais, ferramentas, equipamentos, recursos financeiros e humanos disponíveis.

No Brasil, o desenvolvimento da pesquisa e tecnologia em digestão anaeróbia é marcado pela expansão da experiência europeia, verificada, especialmente, por programas, projetos e iniciativas de parceria internacionais públicas e privadas de incentivo no setor, que subsidiam e colaboram com tecnologia e treinamento para o estabelecimento e operação de laboratórios de biogás do país<sup>1</sup> e para o intercâmbio de conhecimento e tecnologia<sup>2</sup>, por exemplo. Atualmente, a pesquisa em digestão anaeróbia no país é protagonizada pelo trabalho científico desenvolvido nas universidades públicas; na Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e; pelo Centro Internacional de Energias Renováveis no Brasil – Biogás (CIBiogás), além dos laboratórios independentes que contribuem com o desenvolvimento do setor do biogás de forma mais pontual (MCTI, 2020; MME, 2020; VDI, 2006; 2016; Lesteur *et al.*, 2010; Steinmetz *et al.*, 2020). Logo, as pesquisas brasileiras também se depararam com as mesmas questões metodológicas enfrentadas pelos seus pares internacionais<sup>3</sup>. Verifica-se que as pesquisas desenvolvidas no Brasil sobre o PBM seguiram os passos de referências internacionais,

sobretudo daquelas feitas pelos alemães no que se refere às diretrizes metodológicas, literatura, estruturas de pesquisa, infraestrutura de laboratórios, equipamentos, insumos, recursos financeiros e humanos (Steinmetz *et al.*, 2020).

Consciente dos recorrentes desafios apontados pelos laboratórios, universidades, instituições e empresas do setor do biogás, acerca dos métodos para determinação do PBM, assim como das características particulares e potencial da agricultura familiar brasileira na produção de biogás, esta pesquisa emergiu de um exercício de revisão e reflexão em direção à concepção de um procedimento para a determinação do PBM, concebido no desenvolvimento de um projeto de pesquisa de estudo de caso sobre o potencial dos resíduos do beneficiamento da mandioca para o aproveitamento energético da Cooperativa mista dos pequenos produtores de polvilho e derivados da mandioca da região do Cará (Cooperabs)<sup>4</sup>, no âmbito do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal de Goiás (CIAMB/UFG), uma vez que os métodos convencionais de determinação de PBM experimental realizados nos laboratórios de biogás revelaram-se inacessíveis e dispendiosos de recursos financeiros, equipamentos, infraestrutura, recursos humanos e tempo às condições de pesquisa verificadas no projeto.

Diante desse cenário, inspirados por promover maior acessibilidade e praticidade à pesquisa e a sua aplicação junto à agricultura familiar, os pesquisadores identificaram que a análise bromatológica, realizada pelos laboratórios de agropecuária, apresenta-se como uma boa alternativa para a caracterização da matéria orgânica fermentável (MOF) dos substratos da agroindústria. Dessa forma, os resultados dessa análise podem ser utilizados como dados de entrada para a aplicação de métodos teóricos de determinação do PBM, reduzindo o tempo e recursos necessários para a pesquisa, quando comparada aos métodos experimentais convencionais, promovendo ainda maior acessibilidade para realização da pesquisa junto a agricultura familiar, devido a familiaridade dos produtores rurais com os laboratórios de agropecuária; a praticidade e simplicidade dos procedimentos de coleta das amostras dos resíduos identificados no processo de beneficiamento da mandioca; e ao baixo custo e agilidade dos resultados obtidos com a análise bromatológica nos laboratórios de agropecuária.

<sup>1</sup> A exemplo do laboratório do Centro Internacional de Energias Renováveis (CIBiogás), implementado no Parque Tecnológico de Itaipu (PTI) pelo Observatório Brasil de Energias Renováveis; a Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (ONIDO); e a Universidade de Recursos Naturais e Ciências Aplicada à Vida, a Universidade de Boku (Áustria); como também o laboratório da Embrapa Suínos e Aves, em Concórdia/SC, implementado pelo Centro Alemão de Pesquisa em Biomassa (DBFZ); Ministério Federal Alemão para Cooperação e Desenvolvimento Econômico (GIZ); e a Concessionária de Gás de Santa Catarina.

<sup>2</sup> A exemplo do Programa de Tropicalização, implementado no Brasil pelo Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações (MCTI), e implementado pela ONIDO e pelo Fundo Global para o Meio Ambiente – Biogás (GEF-Biogás).

<sup>3</sup> Em 2014 a Embrapa Suínos e Aves, por meio da Rede BiogásFert, iniciou o *Estudo Interlaboratorial sobre Digestão Anaeróbia*, com o objetivo de uniformizar as metodologias utilizadas, por meio de um Programa de Ensaios de Proficiência em digestão anaeróbia (PEP) realizado com os laboratórios parceiros. Em 2017, o projeto iniciou uma colaboração com a *Red de Biodigestores para Latin America y el Caribe* (RedBioLAC), agregando a participação de especialistas e laboratórios da América Latina. Os estudos já contaram com a participação de 42 (quarenta e dois) laboratórios, distribuídos em sete países da América Latina, em quatro edições Interlaboratoriais de Proficiência (Steinmetz *et al.*, 2020).

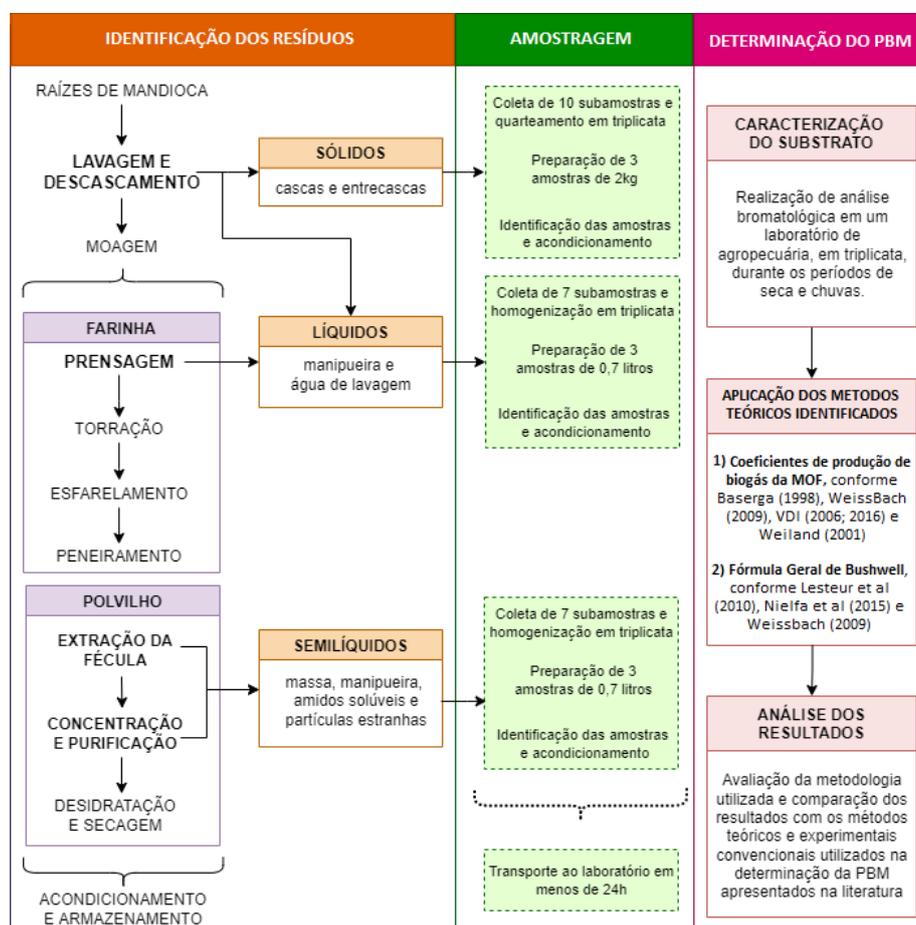
<sup>4</sup> Cooperativa da Agricultura Familiar goiana, localizada na região do Cará do município de Bela Vista de Goiás, no centro-oeste brasileiro.

## Metodologia

O procedimento proposto emergiu de um exercício de reflexão sobre as condições locais de pesquisa, vivenciadas pela experiência dos pesquisadores envolvidos no projeto de pesquisa em desenvolvimento no CIAMB/UFMG<sup>5</sup> inspirada também pela disposição de sistematizar um método de determinação do PBM mais acessível à prática do estudo de caso. Nessa direção, foram considerados três estágios para a sistematização proposta, fundamentados em revisão da literatura; visita técnica ao processo de beneficiamento do estudo de caso; e levantamento de informações com laboratórios de agropecuária da região: a) *Identificação dos resíduos*; b) *Procedimentos de amostragem*; e c) *Determinação do PBM*.

## Resultados e discussão

A *Identificação dos resíduos* do processo de beneficiamento da mandioca foi realizada a partir de observações feitas durante as visitas dos pesquisadores na Cooperabs e fundamentada pela literatura sobre o processo de beneficiamento da mandioca; a produção de biogás; e o aproveitamento energético a partir dos resíduos da agroindústria (MCTI, 2020; FAO, 2013; Sánchez *et al.*, 2017; Milanez *et al.*, 2018; Wosiacki & Cereda, 2002). Assim, foi identificado que são gerados resíduos sólidos (cascas e entrecasas), líquidos (água de lavagem e manipueira) e semilíquidos (massa, manipueira, amidos solúveis e partículas estranhas), provenientes de quatro etapas do processo de beneficiamento da raiz, conforme ilustrado na *Figura 1*.



**Figura 1** | Fluxograma: Procedimento para a determinação do PBM dos resíduos do processo de beneficiamento da mandioca na Cooperabs a partir de metodos teóricos aplicados à caracterização da MOF por análise bromatológica. Fonte: Elaboração própria.

<sup>5</sup> Incluindo a escassa infraestrutura de laboratório, recursos financeiros e humanos.

<sup>6</sup> Esse conjunto de métodos é composto frequentemente por quatorze procedimentos fundamentais, para a determinação da: a) matéria seca (MS); b) matéria orgânica (MO); c) fibra em detergente neutro (FDN); d) fibra em detergente ácido (FDA); e) nitrogênio - proteína bruta (N/PB); f) digestibilidade “in vitro” da matéria seca e/ou da matéria orgânica (DIVMS/DIVMO); g) lignina via ácido sulfúrico e de celulose; h) enzima alfa-amilase; i) sílica; j) nitrogênio amoniacal em silagens; k) digestibilidade por produção de gás; l) extrato etéreo (EE); m) macroelementos; e n) microelementos (BARROCAS, 2017).

<sup>7</sup> Na literatura, a análise bromatológica é frequentemente realizada para verificar a práticas de aproveitamento dos resíduos na composição da ração de animais e na adubação e irrigação do solo nas propriedades. Os resultados revelaram grande variação nos resultados verificados, que podem ocorrer devido a diversos fatores, entre eles: a) a estação e a região em que são coletadas as amostras, que podem influenciar no regime hídrico, tipo de solo, e disponibilidade de nutrientes disponíveis para as raízes; b) diferenças no processo de beneficiamento, que pode ser feito em diversas e escalas, técnicas, ferramentas e maquinários; c) a variedade da mandioca, que é determinante a composição do efluente (FERREIRA, 2013; JÚNIOR *et al.*, 2012; SANTANA *et al.*, 2014; SOUZA *et al.*, 2014).

A partir da *Identificação dos resíduos*, de acordo com as etapas do processo em que são gerados e sua classificação enquanto sólidos, líquidos e semilíquidos, foi possível elaborar o *Procedimento de amostragem* para a realização da análise bromatológica, conforme indicado pela literatura (Rech *et al.*, 2018; 2020; Barrocas *et al.*, 2017) e seguindo as orientações dos laboratórios de agropecuária locais.

A análise bromatológica consiste em um conjunto de métodos analíticos<sup>6</sup> estabelecidos para a determinação da qualidade nutricional de alimentos para animais, muito utilizada nos laboratórios de pesquisa em agropecuária para analisar a qualidade nutricional de rações e silagens que irão compor a dieta dos animais ou na comparação entre espécies de forrageiras e cultivares (Barrocas *et al.*, 2017). Entre os resultados da análise bromatológica<sup>7</sup>, verifica-se que a determinação da matéria seca; da matéria orgânica; das fibras; das proteínas; do extrato etéreo; e dos coeficientes de digestibilidade são exatamente os parâmetros utilizados como dados de entrada na literatura, em seus respectivos métodos teóricos propostos, para a determinação da PBM

a partir da caracterização da matéria orgânica fermentável (MOF), com a identificação dos carboidratos, proteínas e lipídios da biomassa.

Nessa direção, os métodos teóricos identificados na literatura para *Determinação do PBM* a partir da caracterização da MOF se diferenciam em duas bases de cálculos fundamentais, aplicadas de forma independente:

### Coefficientes de produção de biogás da MOF

A primeira delas consiste no cálculo das frações digeríveis dos componentes da matéria orgânica (carboidratos, proteínas e gorduras) a partir dos seus respectivos quocientes de digestão encontrados experimentalmente ou considerados pela literatura, onde o PBM é determinado a partir do conteúdo de metano encontrado em cada uma das frações fermentáveis da matéria orgânica, conforme proposto de forma pioneira por Baserga (1998), conforme sistematizado da literatura na [Tabela 1](#).

**Tabela 1** | Referências da Literatura para a produção de biogás da MOF.

Referências da literatura	Frações de nutrientes	Metano	Biogás	Teor de metano
		(litros/kgMOF)	(litros/kgMOF)	
WEISSBACH, 2009	Carboidratos	402	792	50,8 %
	Gorduras	958	1350	71,0 %
	Proteínas	401	785	51,1 %
BASERGA, 1998	Carboidratos	395	790	50,0 %
	Gorduras	850	1250	68,0 %
	Proteínas	497	700	71,0 %
WEILAND, 2001	Carboidratos	368 – 420	700 -800	50 - 55 %
	Gorduras	705 – 881	1000 – 1250	68 - 73 %
	Proteínas	435 – 508	600 – 700	70 - 75 %
VDI, 2006	Carboidratos	375	750	50,0 %
	Gorduras	1001	1390	72,0 %
	Proteínas	480	800	60,0 %

Fonte: WeissBach (2009); Baserga (1998). Tradução e adaptação própria.

### Formula Geral de Bushwell

Na segunda base de cálculos, aplicam-se balanços estequiométricos proposta pela Fórmula Geral de Bushwell, desenvolvida para sintetizar a determinação do PBM a partir

da caracterização dos compostos da MOF em carboidratos, proteínas e gorduras da biomassa estudada (LESTEUR *et al.*, 2010; NIELFA; CANO; FDZ-POLANCO, 2015; WEISSBACH, 2009), conforme proposto na Equação 1:

$$\text{PBM} = 415 * \% \text{carboidratos} + 496 * \% \text{proteínas} + 1014 * \% \text{lipídios} \quad (1)$$

Por fim, os resultados obtidos com o procedimento apresentado são analisados comparando os resultados obtidos a aplicação dos dois métodos teóricos identificados, considerando também a literatura e resultados obtidos com a aplicação de outros métodos teóricos e experimentais.

## Conclusões

O procedimento concebido para a determinação do PBM de resíduos do beneficiamento da mandioca, a partir de métodos teóricos aplicados aos resultados de análises bromatológicas, realizada em laboratórios de agropecuária locais, apresentou potencial de acessibilidade, praticidade e simplicidade para sua aplicação. Afinal, os resultados da análise bromatológica são suficientes para a aplicação das metodologias teóricas na determinação do PBM.

Sugere-se para estudos futuros que os resultados obtidos a partir das metodologias teóricas para determinação de PBM via análise bromatológica sejam comparados com resultados provenientes de métodos convencionais, a fim de verificar o nível de semelhança entre os resultados e consequentemente validar o método teórico. Dessa forma, será possível avaliar as potencialidades e limitações de ambos os métodos de análise para determinação de PBM.

## Referências

- Barrocas, G., Tanure, J., & Gomes, R. (2017). Análises bromatológicas para determinação da qualidade nutricional de forrageiras - Compêndio de POPs. Embrapa - Documentos, 236, 142. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/172200/1/Analise-bromatologicas-para-determinacao-da-qualidade-nutricional.pdf>
- Baserga, U. (1998). Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen. FAT-Berichte, 512, 1-11.
- Casallas-Ojeda, M., Meneses-Bejarano, S., Urueña-Argote, R., Marmolejo-Rebellón, L. F., & Torres-Lozada, P. (2021). Techniques for quantifying methane production potential in the anaerobic digestion process. *Waste and Biomass Valorization*, 13, 2493-2510. <https://doi.org/10.1007/s12649-021-01636-2>
- Ferreira, M. S. (2013). Avaliação bromatológica dos resíduos da industrialização da mandioca e seu aproveitamento em ração para animais ruminantes. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, 3(1), 105-109.
- Howeler, R., Litaladio N., & Thomas, G. (2013). Save and Grow: Cassava. A guide for sustainable production intensification. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). <https://www.fao.org/3/i3278e/i3278e.pdf>
- Holliger, C., Alves, M., Andrade, D., Angelidaki, I., Astals, S., Baier, U., Bougrier, C., Buffière, P., Carballa, M., de Wilde, V., Ebertseder, F., Fernández, B., Ficara, E., Fotidis, I., Frigon, J. C., de Lacroix, H. F., Ghasimi, D. S. M., Hack, G., Hartel, M., ... Wierinck, I. (2016). Towards a standardization of biomethane potential tests. *Water Science and Technology*, 74(11), 2515-2522. <https://doi.org/10.2166/wst.2016.336>
- da Silva Júnior, J. J., Coelho, E. F., do V Sant'Ana, J. A., & de Accioly, A. M. (2012). Physical, chemical and microbiological properties of a dystrophic yellow latosol using manipueira. *Engenharia Agrícola*, 32(4), 736-744. <https://doi.org/10.1590/S0100-69162012000400013>
- Júnior, J. S., Coelho, E. F., Sant'ana, J. A. V., & Accioly, A. M. A. (2012). Physical, Chemical and microbiological Properties of a dystrophic yellow latosol using manipueira. *Engenharia Agrícola*, 32(4), 736-744.
- Lesteur, M., Bellon-Maurel, V., Gonzalez, C., Latrille, E., Roger, J. M., Junqua, G., & Steyer, J. P. (2010). Alternative methods for determining anaerobic biodegradability: A review. *Process Biochemistry*, 45(4), 431-440. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2009.11.018>
- Liebetrau, J., Pfeiffer, D., & Thrän, D. (ED). (2020). Collection of Methods for Biogas. Collection of Methods for Biogas: Methods to determine parameters for analysis purposes and parameters that describe processes in the biogas sector (2nd ed). DBFZ. [https://www.dbfz.de/fileadmin//chineses/docs/MMC\\_Biogas\\_2020\\_Stand-28.10.2020\\_webansicht.pdf](https://www.dbfz.de/fileadmin//chineses/docs/MMC_Biogas_2020_Stand-28.10.2020_webansicht.pdf)
- Radis Steinmetz, R. L., Kunz, A., do Amaral, A. C., Tápparo, D. C., Correa, J. C., Gaspareto, T. C., & Soares, H. M. (2016). Estudo Interlaboratorial em digestão anaeróbia: relato de atividades e desempenho dos laboratórios em 2015. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/154509/1/final8179.pdf>
- Ministério da Ciência e Tecnologia e Inovações (MCTI). (2020). Indústria de processamento de mandioca: da raiz ao biogás. [https://datasebrae.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Industria-de-processamento-da-mandioca\\_da-raiz-ao-biogas-Nota-tecnica.pdf](https://datasebrae.com.br/wp-content/uploads/2021/05/Industria-de-processamento-da-mandioca_da-raiz-ao-biogas-Nota-tecnica.pdf)
- Milanez, A. Y., Guimarães, D. D., Baptista da Silva, M. G., Pereira de Souza, J. A., & Lemos, M. L. F. (2018). Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas. *BNDES Setorial*, 47, 221-275.
- Ministério de Minas e Energia (NME). (2020). Plano Nacional de Energia - PNE 2050. Empresa de Pesquisa Energética. <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/>

[PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-563/Relatorio%20Final%20do%20PNE%202050.pdf](#)

- Nielfa, A., Cano, R., & Fdz-Polanco, M. (2015). Theoretical methane production generated by the co-digestion of organic fraction municipal solid waste and biological sludge. *Biotechnology Reports*, 5(1). <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.10.005>
- Rech Fonseca, Â., Ruiz Fávoro, V., Celso Baldissera, T. & Arruda Córdova, U. (2020). Como coletar amostras de alimentos para análise bromatológica - Alimentação de ruminantes. *Boletim Didático*, 158. <https://publicacoes.epagri.sc.gov.br/BD/article/view/1074>
- Rech Fonseca, Ângela. (2018). Amostragem de alimentos para análise bromatológica. *Agropecuária Catarinense*, 31(1), 33–36. <https://doi.org/10.22491/rac.2018.v31n1.1>
- Sánchez, A. S., Silva, Y. L., Kalid, R. A., Cohim, E., & Torres, E. A. (2017). Waste bio-refineries for the cassava starch industry: New trends and review of alternatives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 73, 1265–1275. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.02.007>
- Santana, T. P., Sobral, A. J. S., Souza, E. Y. B., Muniz, E. N., de Albuquerque Rangel, J. H., Castro Filho, E. S., & Oliveira, D. S. (2014). Caracterização bromatológica de casca de mandioca e da manipueira para utilização na alimentação animal. *IV Seminário de Iniciação Científica e Pós-Graduação da Embrapa Tabuleiros Costeiros*, 272–278.
- Souza, E. Y. B., Neto, J. A. S., Muniz, E. N., Santos, G. R. de A., Rangel, J. H. de A., Filho, E. S. C. & Santos, D. de O. (2014). Pesos e rendimentos dos cortes comerciais de cordeiros alimentados com níveis crescentes de manipueira. *Em IV Seminário de Iniciação Científica e Pós-Graduação da Embrapa Tabuleiros Costeiros*, 454–461.
- Steinmetz, R. L. R., Barros, E. C., Kunz, A., Antes, F. G., Gaspareto, T. C., Tapparo, D. C., Favretto, R., Silva, J. F. F., Venturin, B., Bonassa, G., Dinnebier, H. C. F., Bolsan, A. C., e Teixeira, E. G. (2020). Estudo interlaboratorial em digestão anaeróbia. Relato de atividades e desempenho nos laboratórios em 2018–2019. *Embrapa Suínos e Aves, Concórdia*. <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/218573/1/Doc-214.pdf>
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI). (2006). VDI 4630: Fermentation of organic materials - Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests. *Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)*.
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI). (2016). VDI 4630: Fermentation of organic materials - Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests (p. 1–130). *Gesellschaft Energie und Umwelt (GEU)*.
- Weiland, P. (2001). *Grundlagen der Methangärung. Biologie und Substrate*. VDI-Berichte 1620, S. 19–31.
- Weissbach, F. (2009). Die Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen für die Biogasgewinnung. Teil I: Das Gasbildungspotenzial der fermentierbaren Nährstoffe. *Pflanzenbauwissenschaften*, 13(2), 72–85. [https://www.openagrar.de/receive/openagrar\\_mods\\_00048500](https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00048500)
- Wosiacki, G., & Cereda, M. P. (2002). Valorização de resíduos do processamento de mandioca. *Publicatio UEPG - Ciencias Exatas e Da Terra, Agrarias e Engenharias*, 8(01), 27–43. <https://revistas.uepg.br/index.php/exatas/article/view/762#:~:text=VALORIZA%C3%87%C3%83O%20DE%20RES%C3%8D%D0%20PROCESSAMENTO%20DE%20MANDIOCA,-Autores&text=Essa%20industrializa%C3%A7%C3%A3o%2C%20ainda%20que%20agregue,ambiente%20com%20forte%20impacto%20ecol%C3%B3gico>