

Biogás como solução para o aproveitamento energético de
Resíduos orgânicos

Leonardo Pereira Lins^a, Henrique Cesar Almeida^b, Janine Padilha Botton^a.

^a Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade (PPGIES), Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA). Unidade Almada - Av. Tancredo Neves, 3838. Bairro Porto Belo, Foz do Iguaçu-PR, Brasil.

^b Instituto Latino-Americano de Ciências da Vida e da Natureza (ILACVN), Universidade Federal da Integração Latino-Americana (UNILA). Av. Tancredo Neves, 6731. Bairro Itaipu, Foz do Iguaçu-PR, Brasil.

***Autor correspondente:** Leonardo Pereira Lins, Mestre, Rua Antônio Francisco de Matos, 191, Jd. Marisa, Foz do Iguaçu-PR. 45-99923 9004; linsleo@gmail.com.

Data de submissão: 19-09-2022

Data de aceite: 07-11-2022

Data de publicação: 25-11-2022

RESUMO

Introdução: A demanda energética vem aumentando nos mais diferentes setores da sociedade, levando à necessidade de se buscar novas fontes de energia, principalmente se estas forem renováveis. Em consequência ao aumento da demanda energética tem-se o acréscimo no consumo de fontes energéticas resultando na geração de resíduos. Entretanto, existem diversos tratamentos que auxiliam na diminuição da poluição causada pela disposição desses resíduos no meio ambiente. Um sistema que tem ganhado destaque é o de digestão anaeróbia, que além de reduzir a carga orgânica, produz o biogás, que é rico em metano, possui alto poder calorífico, e conseqüentemente potencial energético. **Métodos:** Para mensurar esse potencial foi utilizado um ensaio laboratorial (Potencial Bioquímico Metanogênico– PBM), este apresenta o potencial teórico da produção de biogás e metano de um determinado resíduo. Neste capítulo, diversos dados coletados da literatura que versa sobre resíduos orgânicos gerados no Brasil foram submetidos à análise de PBM, sendo: cama de aves (avicultura de corte); dejetos de bovinocultura leiteira; bagaço de malte (BM) – cervejarias; e restos de frutas e hortaliças (RFH) – resíduos sólidos orgânicos. **Resultados:** A análise de PBM reforçou a potencialidade energética dos resíduos analisados. A potencialidade de geração de energia elétrica e térmica ($MWh.t^{-1}$) e de biometano ($m^3.t^{-1}$) foram, respectivamente, 39,1, 83,8 e 11,6 para cama de frango, 28,8, 61,7 e 82,2 para BM, 12,8, 27,5 e 36,6 para RFH e de 2,3, 4,9 e 6,6 para dejetos bovinos. **Conclusão:** Observou-se que o potencial energético avaliado é elevado, podendo ser obtido em diversos setores agrícolas e industriais.

Palavra-chave: Energias renováveis; Metano; Potencial metanogênico bioquímico; Resíduos.

1 INTRODUÇÃO

A demanda por energia vem aumentando a cada ano, seja elétrica, térmica, de combustíveis líquidos, e outros tipos, tanto para uso industrial, comercial e residencial. O consumo energético nas cidades e no campo está em constante crescimento (LINS *et al.*, 2019). Conseqüentemente, a geração de resíduos, sejam eles, gasosos, líquidos ou sólidos aumentam proporcionalmente. Por conta disso, quando não tratados ou destinados incorretamente, podem ser responsáveis por impactos ambientais negativos, gerando por consequência passivo ambiental para as empresas.

Um tipo de resíduo que é gerado, tanto em atividades industriais quanto comerciais, é o resíduo orgânico. Esse tipo de resíduo, dependendo de sua origem e características, pode conter uma alta carga orgânica e que para sua estabilização, demanda de grandes áreas e de processos de tratamento específicos (GUO *et al.*, 2021).

Contudo, há um sistema de tratamento para esse tipo de resíduo que além de evitar impactos ambientais negativos, pode ser um aliado no atendimento das demandas e transições energéticas para combustíveis menos poluentes. Trata-se da digestão anaeróbia que tem por objetivo reduzir a carga orgânica de um determinado material (denominado de substrato), e como resultado desse processo, tem-se a geração de dois produtos principais, o biogás e o digestato. O biogás, por exemplo, é uma mistura gasosa composta por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), além de outros gases como o oxigênio (O_2), o sulfeto de hidrogênio (H_2S) e a amônia (NH_3) (SILVA e MEZZARI, 2019). E em função das suas características e poder calorífico inferior (PCI) do metano, *é possível utilizá-lo* para geração de energia elétrica, térmica e por meio de sua purificação, obter o biometano que pode ser usado como combustível veicular. Com projetos adequados, é possível substituir combustíveis não renováveis, como por exemplo o carvão, por biogás e o diesel por biometano. O foco desta pesquisa é a avaliação do potencial de produção de biogás a partir de resíduos orgânicos oriundos de atividades agropecuárias e industriais.

Os resíduos provenientes de atividades da pecuária, de agroindústrias, de CEASA's (Centrais de Abastecimento) que são os resíduos sólidos orgânicos (RSO), de indústrias de alimentos e bebidas, entre outros, são altamente passíveis de utilização para o aproveitamento energético se empregados em sistemas anaeróbios para tratamento.

Essa pesquisa tem por objetivo fazer uma revisão de literatura buscando os resultados de ensaios de Potencial Bioquímico Metanogênico (PBM) dos resíduos: cama de frango, bagaço de malte, resíduos de frutas e hortaliças e dejetos de bovinocultura leiteira. São *resíduos com* características diferentes, mas são encontrados no Brasil e podem servir e contribuir para o atendimento da demanda energética das regiões onde está disponível.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado baseando-se em resultados da estimativa do potencial de

produção de biogás, realizados por meio do ensaio laboratorial denominado de Potencial Bioquímico de Metano (PBM) o qual quantifica a produção de biogás e metano de uma determinada amostra, apresentados pela literatura e publicações específicas sobre o assunto. Este estudo utiliza os procedimentos descritos para os ensaios de Sólidos Totais (ST), Sólidos Fixos (SF) e Sólidos Voláteis (SV), conforme *Standard Methods for the examination of water and wastewater – 2017*, e o PBM quantificado segundo a norma alemã *VDI 4630 – 2016*.

Com base nos valores apresentados nas publicações, de ST e SV e do PBM e utilizando os dados de produção de cada resíduo, foi possível estabelecer o potencial de produção de biogás e metano por tonelada de amostra fresca, o que simplifica na criação de cenários e estimativa da produção e do potencial energético de cada atividade.

Para este estudo foram avaliados e escolhidos os resíduos de (i) bagaço de malte – resíduo oriundo do processo de fabricação de cerveja, (ONUDI *et al.*, 2022); (ii) dejetos de bovinocultura leiteira – resíduo oriundo da criação de gado confinado para produção de leite, considerando 25 kg de dejetos por animal de 453 kg com confinamento de 12 horas por dia (CIBIOGÁS, 2019); (iii) resíduos de frutas e hortaliças (RFH) – resíduo oriundo de CEASAs, (EDWIGES *et al.*, 2017); (iv) cama de frango do 5º lote – resíduo oriundo da criação de aves de engorda em confinamento (CIBIOGÁS, 2020).

A fim de caracterizar cada resíduo, abaixo são apresentadas informações sobre cada tipo de substrato.

- (i) Carne de Frango: Segundo dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), o alojamento de matriz de corte (aves) no ano de 2021 foi de 55.632.929 de cabeças, valor superior à 0,5% se comparado ao ano de 2020 e 19,5% ao ano de 2010. O que corresponde a uma produção de carne de frango em 2021 de 14,329 milhões de toneladas, valor superior à aproximadamente 3,5% em relação ao ano de 2020, e 17,2% ao ano de 2010. Sendo que os estados da região Sul são os que mais abatem frango no país – 35,54% Paraná, 14,89% Santa Catarina e 13,65% Rio Grande do Sul (ABPA, 2022). Ou seja, considerando que um frango de corte gera cerca de 1,75 kg de cama (SANTOS, LUCAS JR. e SAKOMURA, 2005), a produção total no Brasil desse resíduo foi de 97,3 mil toneladas.
- (ii) Cervejarias: A indústria cervejeira corresponde a 1,6% do Produto Interno Bruto (PIB) nacional, com um faturamento de 107 bilhões de reais, e uma produção de 14,1 bilhões de litros de cerveja (CERVBRASIL, 2022). Tem no bagaço de malte (BM) seu principal resíduo, gerando em média 20 kg L⁻¹ de cerveja produzida (KAVALOPOULOS *et al.*, 2021). Ou seja, tem-se uma produção anual de bagaço de malte de 2,820 milhões de toneladas.
- (iii) Gado de leite: Em 2020 o efetivo de vacas ordenhadas foi de 16,2 milhões de animais, com uma produção total de 35,2 milhões de litros de leite, valor superior a 1,5% em relação a 2019. As Regiões Sudeste e Sul correspondem a mais de 68% da

produção nacional (IBGE, 2020). A produção de dejetos por animal (considerando um peso de 453 kg e confinamento de 12 horas por dia é de aproximadamente 25 kg por dia por animal (CIBILOGÁS, 2019). Com base nessas informações pode-se inferir que a produção total de dejetos em um ano é de 405 mil de toneladas.

- (iv) Resíduos Sólidos Orgânicos (RSO): Os resíduos orgânicos são compostos basicamente por restos de alimentos, hortaliças e outros produtos processados ou *in natura*. Cerca de 50% do resíduo sólido urbano (RSU) gerado são resíduos orgânicos. Esses resíduos são encaminhados, na maioria das vezes a aterros sanitários, controlados ou lixões (EMBRAPA, 2022). Segundo dados da Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE) no ano de 2020 foram gerados cerca de 82,5 milhões de toneladas de RSU (ABRELPE, 2021), logo a geração de RSO foi de aproximadamente 41 milhões de toneladas.

As publicações avaliadas possuem os dados necessários para a quantificação do potencial de produção de energia elétrica, térmica, biometano e equivalência energética em óleo diesel.

O potencial de geração de energia elétrica foi obtido por meio da equação 1, que consiste na multiplicação do volume de biogás produzido, pelo valor do poder calorífico inferior (PCI), pela porcentagem de metano presente na amostra e pelo valor da eficiência do motor na conversão de biogás em energia elétrica.

$$\text{Energia elétrica} = \text{VB} \times \text{PCI} \times \% \text{CH}_4 \times \text{Ef} \quad (\text{equação 1})$$

Onde:

Energia elétrica = potencial de energia elétrica gerada (kWh t⁻¹).

VB = Volume de biogás produzido (m³ t⁻¹).

Poder Calorífico Inferior – PCI (metano) = 9,268 kWh m³ (dados: 33,365 MJ m³ e 1 MJ = 0,2278 kWh) ver tabela 5, NBR 15.213 (NBR, 2008).

% CH₄ = porcentagem de metano presente na amostra

Ef = Eficiência de conversão do motor, utilizando 42% (FNR, 2010).

O potencial de geração de energia térmica foi obtido por meio da equação 2, que consiste na multiplicação do volume de biogás produzido, pelo PCI, pela porcentagem de metano presente na amostra e pelo valor da eficiência de queimadores na conversão de biogás em energia térmica.

$$\text{Energia térmica} = \text{VB} \times \text{PCI} \times \% \text{CH}_4 \times \text{Ef} \quad (\text{equação 2})$$

Onde:

Energia térmica = potencial de energia elétrica gerada (kWh t⁻¹).

VB = Volume de biogás produzido ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$).

Poder Calorífico Inferior – PCI (metano) = $9,268 \text{ kWh m}^3$ (dados: $33,365 \text{ MJ m}^3$ e $1 \text{ MJ} = 0,2278 \text{ kWh}$) ver tabela 5, NBR 15.213 (NBR, 2008).

% CH_4 = porcentagem de metano presente na amostra

Ef = Eficiência da caldeira a gás, 90% (Brasil, 2015).

O potencial de geração de biometano foi obtido por meio da equação 3 que consiste na multiplicação do volume de biogás produzido, pela porcentagem de metano presente na amostra, dividido pela concentração mínima exigida pela norma vigente da ANP (Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis).

$$\text{Biometano} = \text{VB} \times \% \text{CH}_4 / \% \text{CH}_4 \text{ ANP} \quad (\text{equação 3})$$

Onde:

Biometano = potencial de geração de biometano ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$).

VB = Volume de biogás produzido ($\text{m}^3 \text{t}^{-1}$).

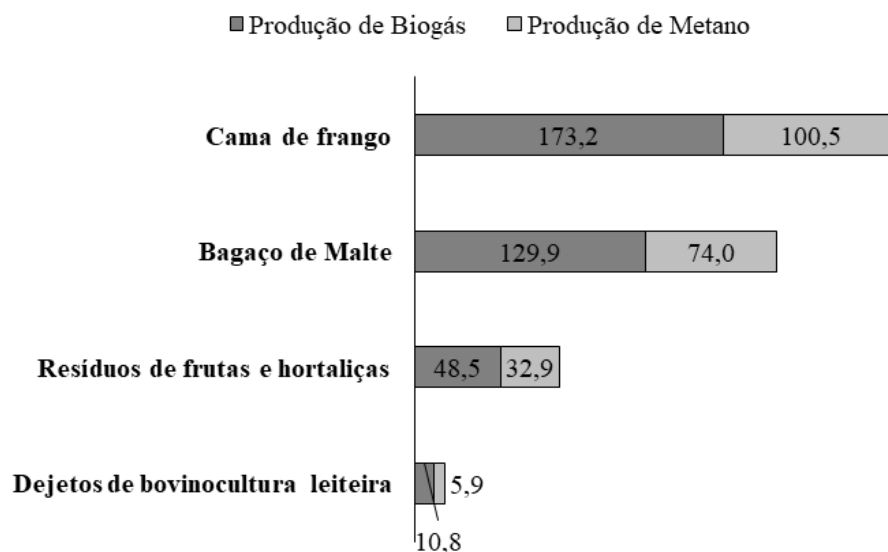
% CH_4 = porcentagem de metano presente na amostra

% CH_4 ANP = 90% - Concentração CH_4 mínima exigida pela Resolução nº 685/2017 ANP (ANP, 2017).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com base na estimativa de volume de biogás e metano gerados para cada resíduo, foi possível determinar seu potencial energético por tonelada de amostra fresca, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Produção de biogás e metano em metros cúbicos por tonelada de resíduo.



Observa-se que o maior potencial obtido foi para a amostra de cama de frango (5º lote), seguido por bagaço de malte, resíduos de frutas e hortaliças e por fim os dejetos de bovinocultura leiteira.

Entretanto, teoricamente, ao cruzar os valores apresentados na Figura 1 com os dados de características dos respectivos resíduos, observou-se que o potencial de produção de biogás para o resíduo de cama de frango é de aproximadamente 16,8 milhões m³, seguido de 366,1 milhões m³ para o bagaço de malte, 198,6 milhões m³ para RSO e por fim 4,3 milhões para bovinocultura leiteira. Isto resulta em um montante de 586 milhões m³ de biogás, somente para essas quatro atividades que são distintas e que existem em todas as regiões do país. A fim de comparação, somente na região Sul o potencial para resíduos sucroenergéticos, agroindustriais e de suinocultura de engorda é de 286, 200 e 633 milhões m³ de biogás, respectivamente (ONU DI, *et al.*, 2020; ONU DI, *et al.*, 2022a).

Porém, o objetivo é tratar dos resultados para que desde os pequenos até os grandes geradores de resíduos possam avaliar suas características e calcular teoricamente seu potencial energético. Com base nos resultados apresentados na Figura 1, foi possível determinar o potencial energético para produção de energia elétrica (MWh t⁻¹), energia térmica (MWh t⁻¹), biometano (m³ t⁻¹), a equivalência em diesel (L) e o custo evitado do diesel (R\$). Com base nas equações 1, 2, 3 e nos resultados do ensaio de PBM das amostras analisadas, foi possível realizar a quantificação do potencial de produção de biogás por tonelada de amostra. Os resultados podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 – Potencial energético por tonelada, dos resíduos avaliados.

Resíduos	Energia Elétrica (MWh t ⁻¹)	Energia Térmica (MWh t ⁻¹)	Biometano (m ³ t ⁻¹)	≡ Diesel (L t ⁻¹)	R\$ Diesel ¹
Cama de frango	39,1	83,8	111,6	97,1	706,94
Bagaço de Malte	28,8	61,7	82,2	71,5	520,87
Resíduos de frutas e hortaliças	12,8	27,5	36,6	31,9	321,88
Dejetos de bovinocultura leiteira	2,3	4,9	6,6	5,7	41,70

Legenda: (≡) equivalência.

Dados: ¹valor médio de revenda obtido para o litro de óleo diesel na região Sul - R\$ 7,28 – período consultado: 24/07/2022 à 30/07/2022. Consulta no sítio: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/precos-e-defesa-da-concorrenca/precos/precos-revenda-e-de-distribuicao-combustiveis/serie-historica-do-levantamento-de-precos>.

Fonte: Próprio autor, (2022).

Conforme observado na tabela, sobre o potencial energético dos vários tipos de resíduos, a geração e o aproveitamento energético do biogás podem reduzir custos. Isso pode ocorrer tanto no consumo de eletricidade, na substituição de lenha ou gás liquefeito de petróleo (GLP) para geração de calor, quanto na substituição de combustíveis líquidos como

diesel, por exemplo.

Observa-se que o resíduo que possui maior potencial energético, tanto para parte elétrica, como a térmica e biometano, é a cama de frango, seguido do bagaço de malte, RFH e dejetos da bovinocultura leiteira. Em comparação, segundo dados da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial (ONUUDI), o biogás no Sul do Brasil para as atividades de avicultura (corte e postura) e bovinocultura leiteira, possuem o potencial de gerar cerca de 690 GWh/ano e 3.627 GWh/ano, de energia elétrica, respectivamente (ONUUDI *et al.*, 2019), já o bagaço de malte tem potencial para gerar 269,3 kWh (ONUUDI *et al.*, 2022b). Para os resíduos de RSO o potencial em fornecer energia elétrica é de 3.674 GWh/ano e equivalente à 1,6 bilhões de litros de diesel (MITO, 2022).

É importante salientar que cada resíduo possui características próprias e estão dentro de cadeias de produção específicas, em diferentes regiões do país, e não interagindo entre si, ou seja, o potencial energético de cada resíduo não se sobrepõe ao outro. Além do potencial energético, outro ponto a ser considerado é a sazonalidade da disponibilidade de cada resíduo, como exemplo da cama de frango que é trocada de tempos em tempos (podendo ser reutilizada de 1 a 6 vezes (SANTOS, LUCAS JR e SAKOMURA, 2005). O não aproveitamento energético dos resíduos, pode resultar em algumas situações: i) o resíduo já é tratado por meio de outro sistema que não possibilita seu aproveitamento energético, porém é dado um destino ambientalmente correto; ii) o resíduo não é tratado por nenhuma tecnologia, e é disposto no meio ambiente gerando passivo ambiental. Em ambos os casos, pelo não aproveitamento, teremos perda de valoração dos resíduos, ou seja, se está perdendo ou deixando de ganhar financeiramente com eles. Já no segundo caso, há o passivo ambiental, social e econômico, uma vez que em função do não tratamento adequado que se deveria dar ao resíduo, provoca-se alterações nesses meios. Por isso, é importante adotar cenários com a identificação das demandas energéticas de interesse, para assim, avaliar qual a melhor rota e analisar a viabilidade técnica e econômica para determinação de um modelo de negócio (BRASIL, 2014).

Outro ponto importante é a questão do uso energético do biogás como ferramenta para transição energética de combustíveis. O seu uso contribui para redução e até substituição de combustíveis fósseis e que possuem impactos nas emissões de gases de efeito estufa, por combustíveis menos poluentes (HÖFIG, LOFHAGEN e SILVA, 2021).

Finalmente, utilizando o potencial de produção de cada resíduo por região ou a nível nacional, tem-se noção da importância e necessidade do aproveitamento energético por meio da digestão anaeróbia para obtenção do biogás. Regiões que sofrem com oscilações e qualidade de energia e/ou desabastecimento energéticos, possuem em seus resíduos a chave para manter seus negócios ativos economicamente e sustentáveis (BRASIL, 2014).

4 CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados para as amostras pesquisadas, pode-se constatar

o enorme potencial energético que é possível obter a partir do sistema de tratamento de resíduos orgânicos, como a digestão anaeróbia.

O biogás gerado pode ser utilizado para a produção de vários tipos de energia, e atende a indústria e/ou produtores das mais diversas atividades, no que tange a necessidade de transição energética pensando na redução de combustíveis fósseis para combustíveis menos poluentes buscando sua sustentabilidade.

Uma outra visão que se tem pelo uso energético dos resíduos, é que seu aproveitamento e destino pode auxiliar no atendimento de questões sociais como no Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), pois é uma medida comparativa de desenvolvimento da sociedade ao avaliar saúde, educação e renda. Normalmente, pessoas com maior renda vão ter um maior consumo de forma geral, geralmente tendem a consumir também mais energia. No entanto, quando se aproveita estes resíduos, é possível ter uma diminuição de custos de energia em médio prazo. Portanto, pode-se dizer que o biogás auxilia no desenvolvimento da sociedade como um todo.

Em síntese, o uso do biogás permite auxiliar os diversos setores, desde a indústria, comércio até as residências, dos pequenos até os grandes geradores, em várias localidades, tanto nas áreas rurais como nas urbanas, mantendo qualidade e quantidade suficiente para geração de energia renovável.

E por conta disso, tem-se que este estudo é importante para gerar informações sobre a produção de biogás e suas aplicações para atividades específicas. O biogás está disponível em todo tipo de resíduo orgânico, contudo é necessário que se tenha o equipamento certo para extrair todo esse potencial.

REFERÊNCIAS

ABPA. Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2022**. Disponível em: <<https://abpa-br.org/wp-content/uploads/2022/05/Relatorio-Anual-ABPA-2022-1.pdf>>. Acesso em: 13 de agosto de 2022.

ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021**, 2021. Disponível em: <<https://abrelpe.org.br/panorama-2021/>>. Acesso em: 13 de agosto de 2022.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 685 de 29 de junho de 2017**. Disponível em: <<https://atosoficiais.com.br/anp/resolucao-n-685-2017-estabelece-as-regras-para-aprovacao-do-controle-da-qualidade-e-a-especificacao-do-biometano-oriundo-de-aterros-sanitarios-e-de-estacoes-de-tratamento-de-esgoto-destinado-ao-uso-veicular-e-as-instalacoes-residenciais-industriais-e-comerciais-a-ser-comercializado-em-todo-o-territorio-nacional?origin=instituicao&q=685/2017>>. Acesso em: 15 de agosto de 2022.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15213: Cálculo de propriedades físico-químicas a partir da composição**. Rio de Janeiro. 2008.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. EPE. **Economicidade e competitividade**

do aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro. 2014. Disponível em: <[https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2016%20-%20%20Economicidade%20e%20Competitividade%20do%20Aproveitamento%20Energetico%20d\[1\].pdf](https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-251/topico-311/DEA%2016%20-%20%20Economicidade%20e%20Competitividade%20do%20Aproveitamento%20Energetico%20d[1].pdf)>. Acesso em 10 de outubro de 2022.

BRASIL. Secretária Nacional de Saneamento Ambiental. PROBIOGÁS. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto.** 1ª ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2015.

CERVBRASIL. Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. **Dados do setor cervejeiro nacional.** Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/>. Acesso em: 13 de agosto de 2022.

CIBIOGÁS. Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás. **Nota Técnica: N° 03/2019 – Produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite e corte.** Foz do Iguaçu, março de 2019.

CIBIOGÁS – Centro Internacional de Energias Renováveis - Biogás. **Nota Técnica: N° 001/2020 – Produção de biogás a partir de resíduos da avicultura de corte.** Foz do Iguaçu, janeiro de 2020.

EDWIGES, T. *et al.* Influence of chemical composition on biochemical methane potential of fruit and vegetable waste. **Waste Management**, 71, 618-625, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.030>>. Acesso em: 13 de agosto de 2022.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Resíduos orgânicos.** Disponível em: <<https://www.embrapa.br/hortalica-nao-e-so-salada/secoes/residuos-organicos#:~:text=Os%20res%C3%ADduos%20org%C3%A2nicos%20s%C3%A3o%20constitu%C3%ADdos,%2C%20grama%20cortada%2C%20podas%20diversas>>. Disponível em: 13 de agosto de 2022.

FNR. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe E.V. **Guia prático do biogás: geração e utilização.** 5a ed. Gülzow. 2010.

GUO, H. N. *et al.* Application of machine learning methods for the prediction of organic solid waste treatment and recycling processes: A review. **Bioresource Technology**, 319, p. 124114, 2021.

HÖFIG, P.; LOFHAGEN, J. C. P.; DA SILVA, G. M. F. Viabilidade econômica do uso do biogás como combustível veicular em uma grande propriedade rural. **Informe GEPEC**, [S. l.], v. 25, n. 1, p. 185–202, 2021. DOI: 10.48075/igepec.v25i1.25428. Disponível em: <<https://e-revista.unioeste.br/index.php/gepec/article/view/25428>>. Acesso em: 10 outubro de 2022.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.** Produção Pecuária Municipal 2020. Rio de Janeiro, v. 48, p.1-12, 2020. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2020_v48_br_informativo.pdf>. Acesso em: 13 de agosto de 2022.

KAVALOPOULOS, M. *et al.* Sustainable valorisation pathways mitigating environmental pollution from brewers' spent grains. **Environmental Pollution**, 270, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.116069>>. Acesso em: 13 de agosto de 2022.

LINS, L. P. *et al.* Produção de biogás a partir de resíduos de bovinocultura leiteira por meio da codigestão com macrófitas da espécie *Salvinia*. In: AGUILERA, J. G.; ZUFFO, A. M. **A dinâmica produtiva da agricultura sustentável**. Ponta Grossa, PR: Atena Editora, 89-97, 2019.

MITO, J. Y. de L. **Análise de aspectos políticos e regulatórios do biogás no Brasil e seu crescimento com o aproveitamento energético dos resíduos sólidos urbanos**. Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Energia e Sustentabilidade. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Integração Latino-Americana. Foz do Iguaçu-PR. 2022.

ONUDI. Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial, *et al.* **Potencial de produção de biogás no Sul do Brasil**. 2019. Disponível em <<https://www.unido.org/sites/default/files/files/2020-04/Potencial%20de%20produ%C3%A7%C3%A3o%20de%20biog%C3%A1s%20no%20Sul%20do%20Brasil.pdf>>. Acesso em: 27 de setembro de 2022.

ONUDI. Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial, *et al.* **Potencial de produção de biogás: mapeamento de substratos e sua conversão energética no sul do Brasil: relatório**. Brasília: MCTI, 2020. E-book. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

ONDU. Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial *et al.* **Mapeamento do mercado brasileiro de biogás para não-brasileiros**. Brasília: Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovações, 2022a. E-book. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

ONUDI. Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial *et al.* **Biogás no setor cervejeiro: nota técnica**. Brasília: MCTI, 2022b. E-book. (Projeto Aplicações do Biogás na Agroindústria Brasileira: GEF Biogás Brasil).

SANTOS, T. M. B. dos.; LUCAS JR., J. de.; SAKOMURA, N. K. Efeitos de densidade populacional e da reutilização da cama sobre o desempenho de frangos de corte e produção de cama. **Revista Portuguesa de Ciências Veterinária**. v. 100, n. 553, p. 45-52, 2005.

SILVA, M. L. B. da.; MEZZARI, M. P. Tratamento e purificação de biogás. In: KUNZ, A., STEINMETZ, R. L. R., AMARAL, A. C. do. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 1a ed. Concórdia: Sbera: Embrapa, 69-93, 2019.