



**UNIVERSIDADE TECNÓLOGICA FEDERAL DO PARANÁ**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**  
**MULTICAMPI Apucarana e Londrina**

**JULIANA APARECIDA CORRÊA DA SILVA FERNANDES**

**COPRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE POR  
BIOGESTÃO ANAERÓBICA DE CAMA DE AVIÁRIO**

APUCARANA  
2022

**JULIANA APARECIDA CORRÊA DA SILVA FERNANDES**

**COPRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE POR  
BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DE CAMA DE AVIÁRIO**

**CO-PRODUCTION OF BIOGAS AND BIOFERTILIZER BY ANEROBIC  
BIODIGESTION OF POULTRY LITTER**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental / multicampi Apucarana e Londrina da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Área de Concentração: Engenharia Ambiental

Linha de Pesquisa: Tecnologias Ambientais

Orientador: Alesandro Bail

**APUCARANA  
2022**



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite que outros remixem, adaptem e criem a partir do trabalho para fins não comerciais, desde que atribuam o devido crédito e que licenciem as novas criações sob termos idênticos.

Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



JULIANA APARECIDA CORREA DA SILVA FERNANDES

**COGERAÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE POR BIODIGESTÃO ANAERÓBICA DE CAMA DE AVIÁRIO**

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Engenharia Ambiental.

Data de aprovação: 21 de Junho de 2022

Dr. Alessandro Bail, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dr. Aulus Roberto Romao Bineli, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Gisele Louro Peres, Doutorado - Universidade Federal da Fronteira Sul (Uffs)

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 27/06/2022.

Dedico este trabalho ao meu esposo, pelo incentivo,  
apoio, paciência, colaboração e compreensão.

## **AGRADECIMENTOS**

Gostaria de agradecer a algumas pessoas que foram fundamentais para o desenvolvimento desse projeto de mestrado.

Primeiramente, agradeço a Deus, que me deu forças nos momentos mais difíceis para continuar e concluir essa dissertação de mestrado.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Alesandro Bail, que acreditou na minha proposta de pesquisa, deu-me liberdade para criar dividindo as expectativas, onde, muitas vezes me levou a refletir e sempre buscar o melhor, obrigada pela confiança e pela dedicação.

Agradeço a Secretaria e a Coordenação do Programa, pela cooperação e disponibilidade em sempre ajudar e esclarecer as dúvidas que surgiram ao decorrer dos anos cursados no mestrado.

Agradeço a toda minha família pelo apoio e incentivo durante todo o período do mestrado.

Agradeço em especial ao meu esposo Daniel Luiz Fernandes, que sempre me apoiou em todas as minhas decisões, que me deu suporte, que me compreendeu em todos os momentos e que acompanhou toda a minha trajetória de realização desse mestrado.

Agradeço também ao Andreo Eckel, que teve uma participação essencial e colaborou para que eu pudesse desenvolver essa pesquisa.

Agradeço a todos que de alguma maneira ou por algum motivo me ajudaram no percurso e contribuíram para a realização desta pesquisa.

E por fim, agradeço a UTFPR por proporcionar a oportunidade de cursar esse mestrado como bolsista de recursos próprios da UTFPR durante o período de quatorze meses.

CORRÊA DA SILVA FERNANDES, Juliana Aparecida. **Coprodução de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbica de cama de aviário**. 2022. 101. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2022.

## RESUMO

A busca por meios de aproveitamento dos resíduos sólidos gerados na produção agrícola tem sido intensa e, especialmente na avicultura, a cama de aviário após uso, pode ser reutilizada no processo de biodigestão anaeróbica, gerando o biogás, fonte de energia renovável, além do digestato, ou biofertilizante – sólido resultante da conversão da biomassa em biogás. O biogás pode ser aproveitado para abastecimento dos equipamentos da propriedade ou comercializado, se for submetido a um processo de refino para remoção de impurezas. Assim, é prevista a redução dos custos com a energia elétrica fornecida pela concessionária, ou devido ao menor consumo de lenha. Este estudo tem como objetivo realizar o processo de biodigestão anaeróbica da cama de aviário saturada, utilizada por 6 lotes, passível de descarte. A biodigestão controlada da biomassa residual foi realizada em um protótipo de biodigestor construído artesanalmente, sendo monitorada a produção de biogás durante o experimento e realizada a caracterização química da cama de aviário antes e depois do processo de biodigestão para avaliar a viabilidade técnica do biofertilizante produzido. A produção de biogás foi monitorada e foi realizada uma projeção de aspectos econômicos.

**Palavras-chave:** biodigestor, avicultura, biogás, biofertilizante.

CORRÊA DA SILVA FERNANDES, Juliana Aparecida. **Co-production of biogas and biofertilizer by anerobic biodigestion of poultry litter**. 2022. 101. Dissertation (Master in Environmental Engineering) – Federal University of Technology - Paraná, Apucarana, 2022.

## **ABSTRACT**

The search for ways to use solid waste generated in agricultural production has been intense and, especially in poultry, the poultry litter after use can be reused in the anaerobic biodigestion process, generating biogas, renewable energy source, in addition to digestate, or biofertilizer—solid resulting from the conversion of biomass into biogas. Biogas can be used to supply equipment on the property or sold, if it undergoes a refining process to remove impurities. Thus, it is expected to reduce costs with electricity supplied by the concessionaire, or due to the lower consumption of firewood. This study aims to carry out the process of anaerobic biodigestion of saturated poultry litter, used by 6 batches, subject to disposal. The controlled biodigestion of residual biomass was carried out in a handcrafted prototype biodigester, the biogas production was monitored during the experiment and the chemical characterization of the poultry litter was carried out before and after the biodigestion process to evaluate the technical feasibility of the biofertilizer produced. Biogas production was monitored and economic aspects were projected.

**Keywords:** biodigester, poultry farming, biogas, biofertilizer.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – As três dimensões do desenvolvimento sustentável .....	11
Figura 2 – Produção (em toneladas de carne) de frangos de corte no ano de 2021 no mundo .....	15
Figura 3 – Exportação (em toneladas de carne) de frangos de corte no ano de 2021 .....	21
Figura 4 – Produção (em %) de frangos de corte no ano de 2020 no Brasil .....	22
Figura 5 – Materiais que podem compor a cama de aviário .....	25
Figura 6 – Representação resumida de formas de utilização do biogás .....	27
Figura 7 – Processo de decomposição anaeróbica na geração do biogás .....	30
Figura 8 – Equivalência energética do biogás em relação a outras fontes de energia .....	33
Figura 9 – Ciclo de produção de biogás na avicultura .....	35
Imagem 1 – Vista do ângulo dos exaustores e silos de ração .....	44
Imagem 2 – Vista do ângulo da porta de acesso para maquinários .....	45
Imagem 3 – Vista interna a partir da porta de acesso de maquinários .....	45
Figura 10 – Biodigestor construído artesanalmente .....	48
Figura 11 – Comparativo entre as amostras de cama de aviário coletadas (a) antes e (b) depois da biodigestão .....	53
Figura 12 – Amostra de cama de aviário coletada para os experimentos de biodigestão .....	57
Figura 13 – Teores de nutrientes para o digestato obtido e valores mínimos baseados na legislação. (a) Nutrientes com teores mais elevados e (b) nutrientes com teores menos elevados .....	62
Figura 14 – Volume total de biogás produzido durante o processo de biodigestão monitorado ao longo de 60 dias .....	64
Gráfico 1 – Produção de biogás (Nm <sup>3</sup> ) ao longo de 60 dias de biodigestão .....	66
Gráfico 2 – Temperaturas mínimas e máximas, interna e externa do biodigestor .....	68
Gráfico 3 – Relação da produção de biogás com as temperaturas medidas ...	69

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Aviários de frangos de corte por região no estado do Paraná (referente ao ano de 2020) .....	23
Tabela 2 – Comparativo do poder calorífico inferior de gases .....	32
Tabela 3 – Eficiência entre a energia térmica e elétrica do gás natural e do biogás .....	37
Tabela 4 – Comparativo da análise da composição química da cama de aviário realizada com relação a literatura .....	56
Tabela 5 – Análise da composição química da cama de aviário antes e após o processo de biodigestão .....	59
Tabela 6 – Requisitos mínimos para fertilizantes orgânicos .....	61
Tabela 7 – Comparação da produção de biogás realizada com média de 30 dias .....	70
Tabela 8 – Estudo financeiro do potencial de produção de biogás por aviário .	77
Tabela 9 – Consumo médio de energia elétrica por aviário .....	78
Tabela A1 – Controle de temperatura, produção de biogás (litros/dia) e das condições meteorológicas .....	93
Tabela B1 – Controle de pressão e umidade relativa realizada pelo Simepar .....	96
Tabela C1 – Cálculo matemático para conversão da produção de biogás de m <sup>3</sup> para Nm <sup>3</sup> .....	99

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
CGH	Central Geradora Hidráulica
EPE	Empresa de Pesquisa Energética
Faep	Federação da Agricultura do Estado do Paraná
Fiep	Federação das Indústrias do Estado do Paraná
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ITL	Instituto de Tecnologia e Laboratórios
MME	Mistério de Minas e Energia
PCH	Pequena Central Hidrelétrica
RenovaBio	Política Nacional de Biocombustíveis
Simepar	Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná
Sindiavipar	Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná
TECPAR	Instituto de Tecnologia do Paraná
UE	União Europeia

## LISTA DE SÍMBOLOS

Ca	Cálcio
COV	Compostos orgânicos voláteis
Cu	Cobre
Fe	Ferro
K	Potássio
m <sup>3</sup> /h	Metro cúbico por hora
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
N	Nitrogênio
Na	Sódio
Nm <sup>3</sup> /h	Normal metro cúbico por hora
P	Fósforo
pH	Potencial hidrogeniônico
Pp	Pressão padrão em bar absoluto
Pr	Pressão real do ar em bar absoluto
Pv	Pressão parcial de vapor em bar absoluto
Rh	Umidade relativa local
Tp	Temperatura padrão em kelvin
Tr	Temperatura real do ar em kelvin
Zn	Zinco

## SUMÁRIO

<b>1 JUSTIFICATIVA</b> .....	<b>10</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>13</b>
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	<b>13</b>
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>13</b>
<b>3 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>4 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1 Avicultura</b> .....	<b>19</b>
4.1.1 Avicultura no Brasil .....	20
4.1.2 Avicultura no Estado do Paraná .....	22
<b>4.2 Biomassa residual como fonte renovável de energia</b> .....	<b>24</b>
4.2.1 Biogás e suas principais características .....	28
4.2.2 Produção de biogás a partir da cama de aviário .....	33
<b>4.3 Utilização do biogás na produção de energia elétrica</b> .....	<b>36</b>
<b>4.4 Projeto RenovaBio</b> .....	<b>38</b>
<b>4.5 Projeto Smart Energy Paraná</b> .....	<b>41</b>
<b>4.6 Biofertilizante resultante no processo de biodigestão</b> .....	<b>42</b>
<b>5 MATERIAS E MÉTODOS</b> .....	<b>44</b>
<b>5.1 Metodologia da pesquisa</b> .....	<b>44</b>
<b>5.2 Biomassa para o biodigestor</b> .....	<b>45</b>
<b>5.3 Caracterização da cama de aviário e do biofertilizante</b> .....	<b>48</b>
<b>5.4 Biodigestor</b> .....	<b>50</b>
<b>5.5 Experimentos de biodigestão</b> .....	<b>52</b>
<b>6 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>55</b>
<b>6.1 Análise da composição química da cama de aviário coletada e após o processo de biodigestão</b> .....	<b>55</b>
<b>6.2 Biogás produzido no biodigestor</b> .....	<b>66</b>
<b>6.3 Análise financeira do potencial da produção de biogás</b> .....	<b>75</b>
<b>7 CONCLUSÕES</b> .....	<b>79</b>
<b>8 REFERÊNCIAS</b> .....	<b>81</b>
<b>APÊNDICE A – Tabela A1</b> .....	<b>92</b>
<b>APÊNDICE B – Tabela B1</b> .....	<b>95</b>

<b>APÊNDICE C – Tabela C1 .....</b>	<b>98</b>
-------------------------------------	-----------

## 1 JUSTIFICATIVA

O desenvolvimento dos empreendimentos rurais sempre teve como impulso alcançar um lucro maior na propriedade e, para isso, o aprimoramento técnico e gerencial sempre foi fundamental para o crescimento e gestão do negócio. Porém, nos últimos anos começou a aumentar a exigência de alguns mercados externos, voltando a atenção para a necessidade de considerar mais dois aspectos: o ambiental e o da qualidade de vida.

O aspecto ambiental considera a preservação do meio ambiente, utilizando novas tecnologias para gerar assim menor impacto na propriedade rural e proporcionar uma produção sustentável. O aspecto de qualidade de vida aborda fatores socioeconômicos relacionados ao trabalho e residência das pessoas nas propriedades rurais. Visto essas novas exigências do mercado, pode-se dizer que além da lucratividade, há um olhar voltado ao meio ambiente e à responsabilidade social (ZUIN e QUEIROZ, 2015).

Assim, tem-se no foco dos negócios a busca pela sustentabilidade, e já que o desenvolvimento sustentável, por definição, preconiza o acesso das gerações atuais aos recursos naturais sem comprometer o acesso das gerações futuras, o mesmo se apoia nessas três questões, que são denominadas por tripé do desenvolvimento sustentável e integram as questões econômicas, ambientais e sociais para promover o equilíbrio (ARAÚJO et al., 2006). Na Figura 1 pode-se exemplificar esse conceito, apresentado ao público pela primeira vez em 1987 no relatório da Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecido como Relatório Brundtland ou Nosso Futuro Comum (CMMAD, 1991).

**Figura 1 – As três dimensões do desenvolvimento sustentável**



**Fonte: Araújo et al. (2006)**

Já que os mecanismos que direcionam às mudanças necessárias rumo a formas mais sustentáveis de produção têm se tornado cada vez mais diversificados, a busca por mudanças na forma como ocorre a destinação dos resíduos se intensificou e permitiu notar o potencial energético de vários resíduos que até então eram desconsiderados. Entre esses resíduos encontra-se a cama de aviário gerada por aviários de criação de frangos de corte, que possui potencial energético para a produção de energia que irá contribuir para o funcionamento do aviário, diminuindo os custos energéticos por parte da concessionária. De fato, a energia é fundamental para o funcionamento de um aviário, assim como de qualquer empresa, e possui um importante impacto no custo total da atividade de produção avícola.

Como já se sabe, a produção de biogás utilizando resíduos industriais tanto urbanos quanto rurais, está sendo uma alternativa valiosa para a produção de energia a partir de fontes renováveis, pois além de minimizar os impactos ambientais também alavanca a procura por inovações tecnológicas para que se possa ter o maior desempenho no aproveitamento energético. Diante do processo de aproveitamento

da cama de aviário, além da geração do biogás também é gerado o digestato ao final do processo, um produto que pode ser comercializado como biofertilizante pelo produtor, gerando incrementos significativos no lucro da propriedade.

Sendo assim, esse trabalho visa demonstrar a importância da relação de sustentabilidade em um aviário aplicando a técnica de biodigestão anaeróbica para tratar a cama de aviário gerando não só o benefício ambiental, mas também o econômico.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Analisar o uso da cama de aviário oriunda dos aviários de criação de frango de corte para a coprodução de biogás e biofertilizante em propriedades que atuam no setor avícola e estimar financeiramente a produção do biogás.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Construir o biodigestor artesanal para o experimento;
- Monitorar a produção de biogás;
- Caracterizar físico-quimicamente a cama de aviário coletada;
- Caracterizar físico-quimicamente o digestato/biofertilizante resultante do processo de biodigestão anaeróbica da cama de aviário;
- Estimar financeiramente a produção do biogás.

### 3 INTRODUÇÃO

À medida em que as atividades humanas se difundem pelo ambiente inicialmente natural, explorando os recursos nele existentes, desenvolvendo atividades agropecuárias e as próprias sociedades, o resultado tem sido notado como diferentes formas de impacto ambiental de amplo espectro. Dessa forma, é importante avaliar com cautela as ações do homem em relação ao meio ambiente (SANTOS et al., 2019).

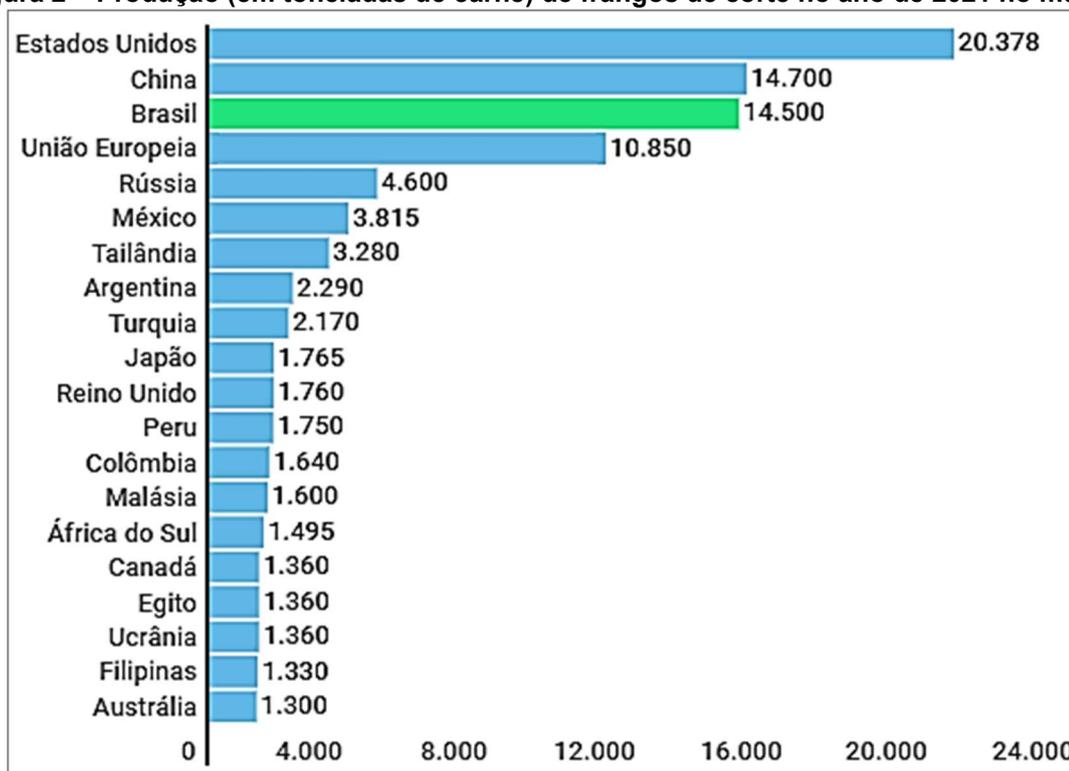
De fato, constata-se que o homem impacta o meio onde vive e depende do mesmo para sobreviver, sendo importante salientar que toda a alteração que o meio vier a sofrer afeta seu equilíbrio, por isso é tão importante que as ações do homem em relação ao meio ambiente sejam planejadas e discutidas antes de serem executadas (SANTOS, 2007).

A preocupação com o impacto das atividades humanas está cada vez mais presente. As questões envolvendo emissão de gases de efeito estufa devido à combustão majoritária de combustíveis não-renováveis tem sido extensivamente discutidas para se tentar encontrar soluções tecnológicas mais sustentáveis. Assim, a biomassa residual, por exemplo, tem se destacado como potencial fonte de energia de base renovável, insumo produzido largamente em áreas rurais e igualmente disponível (SALEEM, 2022).

A ausência de um planejamento e uma gestão adequada é prejudicial ao projeto. Nesse sentido, toda atividade necessita considerar alguns fatores fundamentais, tais como, a fragilidade do ambiente natural, as viabilidades econômica, ambiental, social e cultural, em busca de mitigar o impacto inerente ao ambiente (FANTINATTI, ZUFFO e FERRÃO, 2015).

A título de exemplo, a produção alimentícia brasileira vem crescendo a cada ano, tornando o Brasil um grande fornecedor de alimentos para vários países. No campo da produção animal observa-se um elevado crescimento na produção e no consumo da carne, especialmente no que diz respeito a carne de frango, que teve um rápido desenvolvimento e elevou a posição do Brasil no ranking mundial como um dos principais produtores de frango de corte, estando em terceiro lugar, atrás apenas dos Estados Unidos e da China, conforme pode-se observar na Figura 2.

**Figura 2 – Produção (em toneladas de carne) de frangos de corte no ano de 2021 no mundo**



Fonte: Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Suínos e Aves (2022)

A atividade avícola brasileira pujante leva à geração de grandes volumes de resíduos, incluindo a chamada cama de aviário, que é o material que forma o piso do aviário onde as aves ficam alojadas.

A quantidade de cama de aviário gerada em média é de 2,19 kg por ave durante todo o período de vida e considerando dois lotes consecutivos de aves alojadas (VICENTE JR. et al., 2018).

Para se ter uma ideia mais clara em relação à produção brasileira, conforme dados do IBGE, no ano de 2021 foram abatidos 6,18 bilhões de frangos de corte, um recorde de abate desde 1997, que é quando se iniciou esse monitoramento de produção (IBGE, 2022).

Tendo em vista a quantidade média de geração de cama de aviário por ave e o abate do ano de 2021, foram gerados aproximadamente 13.534 milhões de toneladas de cama de aviário residual.

Diante do exposto, destaca-se que a cama de aviário é um grande subproduto gerado na atividade avícola, podendo ser utilizada de maneira mais eficaz no sentido de causar um menor impacto ambiental. Em algumas situações, a cama de aviário tem sido aplicada diretamente na agricultura, justificada por uma ação fertilizante, porém, quando a cama de aviário é aplicada de forma incorreta, pode gerar danos ao ambiente, tais como, a degradação dos ecossistemas aquáticos e terrestres, gerar riscos à saúde humana devido à grande carga de matéria orgânica e pela elevada quantidade de nitrogênio e fósforo presentes nos dejetos que a compõe (CHAKRABORTY et al., 2021).

A cama de aviário é basicamente constituída por excretas das aves e pelo material absorvente que compõe o local onde as aves ficam confinadas, podendo ser composta de maravalha, serragem, casca de arroz, sabugo de milho triturado, restos de culturas e capins. Restos de ração e penas também acabam compondo a cama de aviário. Por isso, para um manejo adequado, deve-se saber qual a composição da cama de aviário (AVILA et al., 2007).

Esses materiais podem ser classificados como rejeitos/resíduos de vários processos agrícolas ou industriais, e seu tratamento pode ocorrer através da compostagem e da biodigestão anaeróbica. Os produtos sólidos gerados como resultado desses processos são comumente chamados de digestato, e podem ser utilizados como biofertilizante para aplicações na agricultura, porém seu uso depende de um rigoroso controle por meio de análises para se verificar a necessidade de possíveis correções com biomassa vegetal, como por exemplo, casca de café (SUZUKI, 2015).

Além disso, o processo de biodigestão anaeróbica gera uma fase gasosa rica em metano, conhecida por biogás, a qual pode ser aplicada como uma fonte de energia complementar para o funcionamento de máquinas, equipamentos e iluminação do aviário, auxiliando na redução dos custos com gastos de energia (DIEL et al., 2020).

Os processos para o tratamento desses resíduos utilizando microrganismos são cada vez mais importantes como forma de apresentar alternativas para a produção de biocombustíveis e para a preservação do meio ambiente, já que esse processo permite produzir biogás por meio da ação microbiana na ausência do oxigênio e ao mesmo tempo promove a conversão da biomassa em biossólidos com propriedades de interesse para o setor agrícola (VATS, KHAN e AHMAD, 2020).

Como é de amplo conhecimento, o consumo de energia elétrica fornecida pela concessionária acarreta um custo elevado para o funcionamento do aviário, já que o mesmo necessita de suprimento de energia em tempo integral.

A cama de aviário residual é gerada de forma periódica, pois depende de alguns ciclos de frangos para a sua troca e, por isso, o biodigestor em batelada é o mais indicado para esse processo. Como uma vantagem do processo de biodigestão

anaeróbica está o fato do manejo do biodigestor ser relativamente simples e não exigir mão-de-obra especializada. Porém, para seu funcionamento em condições otimizadas e máxima produtividade faz-se necessário acompanhamento de pessoal capacitado (BANERJEE, PRASAD e SELVARAJU, 2022).

Tendo em vista o exposto, esse trabalho visa apresentar o potencial técnico que a biodigestão anaeróbica pode proporcionar, contribuindo com o desenvolvimento do aproveitamento desse tipo de biomassa residual, que ao ser utilizada como fonte de energia renovável evita que a mesma seja aplicada de forma incorreta, diminuindo assim danos à saúde e ao meio ambiente.

## 4 REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1 Avicultura

A avicultura é uma atividade agrícola muito antiga, visto que a história de domesticação de galinhas é datada de aproximadamente oito mil anos. O primeiro registro de domesticação foi a partir do galo vermelho, espécie *Gallus gallus*, nativo da China e em outros locais da Ásia e, por meio das tribos nômades essa espécie foi levada para outras regiões do mundo (SANTOS FILHO et al., 2011; HATA et al., 2021).

Essa atividade como conhecemos hoje, a avicultura, é o aprimoramento da criação dessas aves em nível agroindustrial, onde, o propósito é suprir a carne de frango para o consumo dos mercados interno e externo.

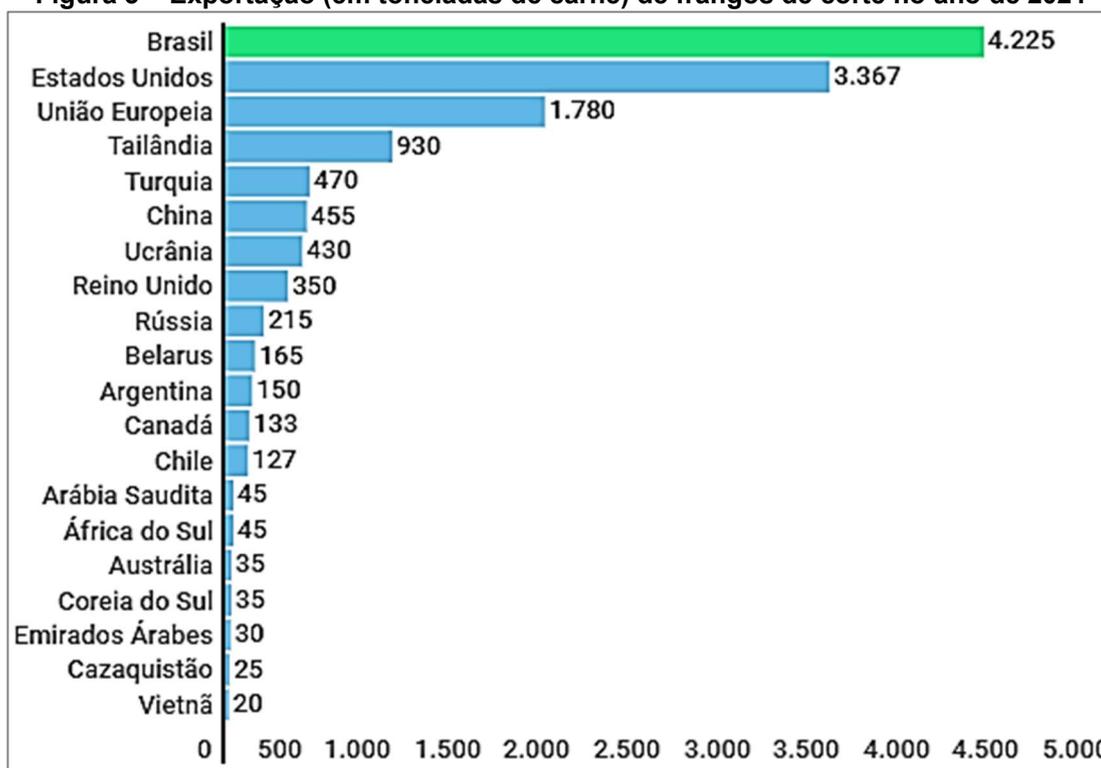
A avicultura é uma atividade muito atrativa, sendo que a mesma é economicamente viável e não necessita de muita área para ser implementada. Os fatores principais para que se atinja um adequado desenvolvimento da avicultura são a genética, a alimentação, o manejo e controle sanitário das aves (DUARTE et al., 2020).

Sendo assim, a avicultura é uma atividade altamente difundida na cultura mundial, estando em crescimento contínuo e, decorrente disso, surgem os problemas com o aumento dos resíduos gerados. Por outro lado, surgem também oportunidades de inovação na destinação desses mesmos resíduos e, com isso, a possibilidade de aumentar o nível de sustentabilidade de toda a cadeia produtiva.

#### 4.1.1 Avicultura no Brasil

Após a disseminação do frango na Europa, foi através dos portugueses que essa ave chegou ao Brasil por volta do ano 1503 (SANTOS FILHO et al., 2011). Porém, a produção em escala comercial demorou para começar. Segundo Furtado (2002), foi no estado de Minas Gerais por volta do ano de 1860 que começou a comercialização das aves e do laticínio para as outras regiões do Brasil, porém, mesmo com o início da comercialização, as aves eram criadas da forma campestre; a modernização no processo de produção iniciou-se na década de 1930 para suprir à demanda que já havia crescido muito no país. A partir do ano de 1950, grandes mudanças aconteceram com os avanços na genética, nas vacinas, na nutrição animal e nos equipamentos adequados, já nos anos de 1960 as agroindústrias brasileiras da avicultura fortaleceram as suas estruturas e o melhoramento contínuo resultou na estrutura que existe atualmente.

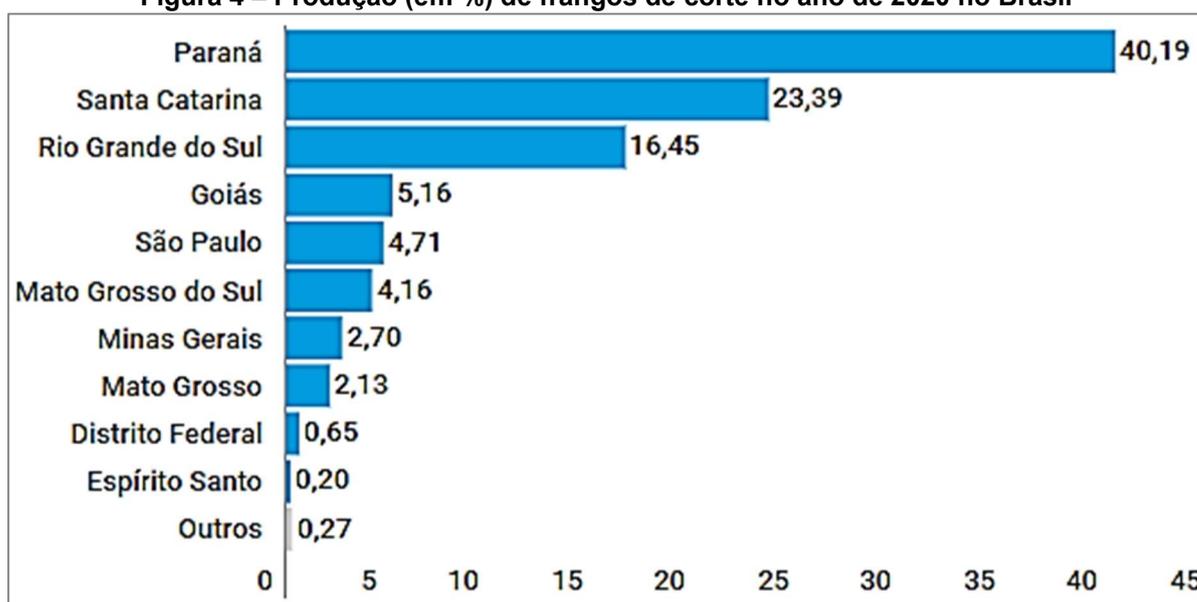
Conforme a Embrapa (2022), no ano de 2020 o Brasil teve um aumento na produção de frangos de corte de 4,53% em relação ao ano de 2019. O destino da produção no ano de 2020 foi de 69% para o consumo nacional e 31% para exportação. Na Figura 3 tem-se o índice de exportação realizado no ano de 2021.

**Figura 3 – Exportação (em toneladas de carne) de frangos de corte no ano de 2021**

Fonte: Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Suínos e Aves (2022)

O Brasil lidera o índice de exportação mundial de carne de frango, seguido dos Estados Unidos. Isso se deve ao investimento na avicultura, conforme já mencionado anteriormente no ranking mundial de produção de carne de frango do ano de 2021 (Figura 2). A produção de frangos de corte nos estados brasileiros é mais desenvolvida na região sul do país conforme pode-se observar na Figura 4.

**Figura 4 – Produção (em %) de frangos de corte no ano de 2020 no Brasil**



Fonte: Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Suínos e Aves (2022)

O maior produtor de carne de frango no Brasil, no ano de 2020, foi o estado do Paraná, que representa 40,19% de toda a produção do país, sendo o estado com o maior potencial para a implantação de biodigestores em aviários do país.

#### 4.1.2 Avicultura no Estado do Paraná

Segundo o Sindiavipar - Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná (2022), o estado do Paraná é o detentor do título de principal produtor de frangos de corte do Brasil desde o ano 2000 e continua em expansão na avicultura com o crescimento linear da produção.

Como pode-se observar na Tabela 1, a avicultura no Paraná está implementada em todas as regiões do estado.

**Tabela 1 – Aviários de frangos de corte por região no estado do Paraná (referente ao ano de 2020)**

Região	Aviários de frangos de corte	
	Quant.	%
Oeste	6.041	39,34
Sudoeste	2.784	18,13
Norte central	1.830	11,92
Noroeste	1.718	11,19
Centro oriental e metropolitano	946	6,16
Centro ocidental	911	5,93
Norte pioneiro	829	5,40
Sudeste	200	1,30
Centro sul	97	0,63
<b>Total de aviários de frangos de corte</b>	<b>15.356</b>	<b>100,0</b>

**Fonte: Adaptado de SindiaVIPAR (2022)**

Ao analisar os dados da Tabela 1, nota-se que o destaque de produção está em três regiões, sendo que, a região do oeste paranaense detém 39,34% dos aviários, seguido do sudoeste paranaense com 18,13% e finalmente, do norte central paranaense com 11,19%.

Conforme informado pelo Governo do Estado do Paraná através da Agência de Notícias do Paraná, o elevado nível de inserção da atividade avícola no Estado do Paraná é responsável pela geração de milhares de empregos, a avicultura é fundamental para o crescimento econômico do Estado e para a geração de empregos, diante disso, o governo do Estado quer amplificar esse setor no estado expandindo ainda mais a atividade avícola no Paraná (ANP, 2020).

Novamente percebe-se a tendência ao aumento da geração de biomassa residual devido à grande rotatividade de aves nos aviários e à necessidade aumentada de reuso da cama de aviário.

#### **4.2 Biomassa residual como fonte renovável de energia**

A biomassa residual é todo material que possui capacidade de ser decomposto através da ação biológica, é renovável e proveniente de matéria-orgânica que se acumula. Pode ser encontrada de várias formas, entre elas, os resíduos gerados pela criação de animais e pela atividade agrícola voltada ao cultivo de plantas. A biomassa é uma das maiores fontes de energia disponível nas áreas rurais, sendo que, especialmente por meio de sua biodigestão anaeróbica, pode ser utilizada para a obtenção de biogás, o qual pode ser convertido em energia elétrica (FERREIRA et al., 2018).

Em termos de atividade avícola, conforme a legislação ambiental expressa, a mesma utiliza dois requisitos que são monitorados pelos órgãos ambientais, sendo o uso de recursos ambientais água e solo e, o risco de causar degradação ambiental. Assim, o uso inadequado da cama de aviário pode causar prejuízos ao meio ambiente e aos seres vivos (PALHARES, 2011).

A cama de aviário pode ser de vários materiais diferentes, e isso exerce forte influência sobre os produtos resultantes da biodigestão. Villagrà et al. (2014) expressa que, a maravalha é um resíduo gerado na atividade madeireira, sendo formada por pequenos fragmentos de madeira, sendo o material de referência para utilização na cama de aviário. Esse material é utilizado mundialmente, mas devido à demanda de outros mercados, faz-se necessário explorar materiais alternativos. A serragem é

outro resíduo também gerado na atividade madeireira, cuja composição química é idêntica à da maravalha, porém, sua apresentação é granulada. Por sua vez, a palha de arroz é um resíduo proveniente de regiões que manejam esse tipo de cultura e, a disponibilidade desse material varia de acordo com a localidade do aviário e com a época do cultivo. Outros materiais possíveis são oriundos da agricultura, sendo, restos de culturas, como por exemplo, o sabugo de milho, a palha de soja e o capim, todos na forma triturada.

Para complementar os materiais que podem ser utilizados como cama de aviário, tem-se o bagaço de cana-de-açúcar e determinadas gramíneas (GARCIA et al., 2012).

A Figura 5 ilustra alguns dos tipos de materiais citados que podem compor a cama de aviário.

**Figura 5 – Materiais que podem compor a cama de aviário**



**Maravalha**



**Serragem**



**Casca de arroz**



**Sabugo de milho triturado**



**Palha de soja triturada**



**Capim triturado**

**Fonte: Autoria própria (2020)**

Os materiais escolhidos para a composição da cama de aviário normalmente são produtos disponíveis em abundância na região onde o aviário está localizado (VARMA et al., 2017).

Tratar de forma adequada esse tipo de resíduo é fundamental, não somente para o meio ambiente, mas também para a saúde humana, que pode ser drasticamente afetada. Uma estratégia muito aceita tem sido aproveitar esse tipo de biomassa como fonte renovável para produção de biogás por meio da biodigestão anaeróbica. Sua aplicação como fonte primária na geração de energia elétrica, é relevante para fins de aproveitamento na realização de trabalho mecânico e potência elétrica (TOLMASQUIM, 2016).

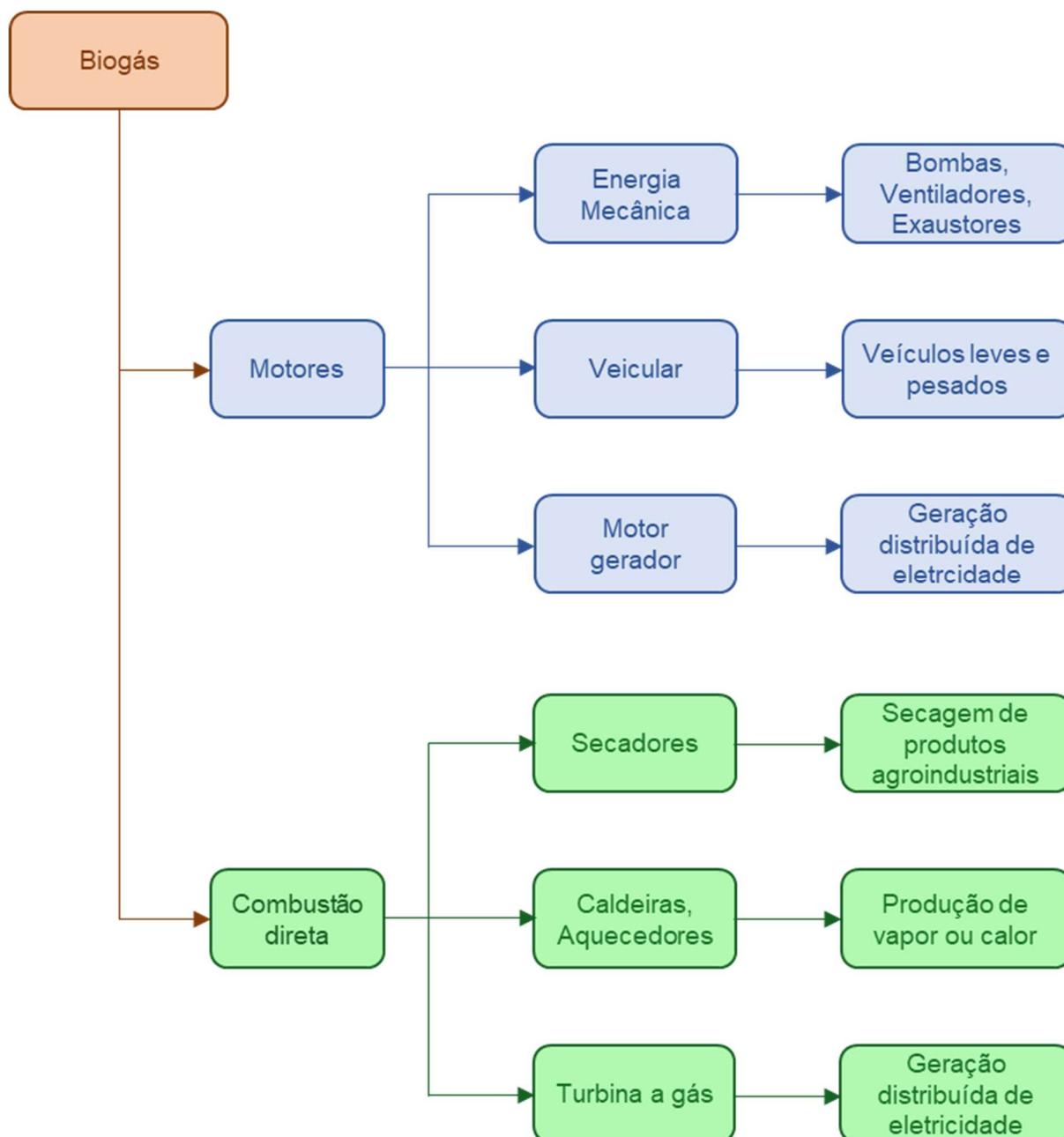
Os tipos de aplicação do biogás são vários, mas os principais são a combustão direta e o uso em motores de ciclo Otto. Pode-se dizer que a combustão direta é o processo em que o biogás é queimado em câmaras de combustão de turbinas a gás, caldeira, aquecedores e secadores, e o calor gerado nesse processo de queima pode ser utilizado em processos de produção industrial ou para a geração de energia elétrica. Já seu uso em motores de combustão interna converte o calor em potência mecânica ou elétrica (QIAN et. al., 2017). No entanto, para que sua eficiência energética seja aumentada e sua capacidade de causar corrosão seja diminuída, o biogás necessita ser submetido a processos de purificação, conhecidos na literatura pelos termos “cleaning” e “upgrading”, antes de sua aplicação como biocombustível (DENG, LIU e WANG, 2020).

Segundo Uddin et al. (2016), o biogás é muito versátil na sua utilização, sendo possível utiliza-lo para a produção de calor, para a geração de energia elétrica e também para a cogeração dessas duas formas de energia. Isso ocorre devido ao

aprimoramento do processo até o produto final que é o biometano – biogás purificado, que pode ser direcionado para redes de gás natural e também como combustível.

Na Figura 6 pode-se ver a representação resumida das possíveis formas de utilização do biogás como biocombustível alternativo aos de origem não renovável.

**Figura 6 – Representação resumida de formas de utilização do biogás**



Fonte: Souza (2016)

De acordo com Chen et al. (2016), a produção de biogás a partir de da biodigestão anaeróbica de biomassa permite que o mesmo seja utilizado como biocombustível em substituição às fontes convencionais de combustíveis fósseis utilizados para geração de energia, além disso, o biogás se apresenta como uma opção de biocombustível a ser explorado com valor de mercado atraente quando comparado aos combustíveis de fontes não renováveis tradicionais, tais com o diesel e a gasolina. Além disso, o biogás apresenta uma eficiência energética relevante, por isso tem sido valorizado como combustível alternativo. Adicionalmente, o biogás tem sido valorizado porque gera pouca emissão de poluentes perigosos, tais como compostos orgânicos voláteis (COV), sendo visto como um produto com menor potencial de impacto negativo ao meio ambiente.

Referente ao potencial teórico da produção de biogás, um estudo realizado pelo Ministério de Minas e Energia (MME) por meio da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), e relatado na Nota Técnica DEA 13/15 de 2016, que trata da demanda brasileira por energia até o ano de 2050, aponta que nos próximos dez anos o biogás se estabelecerá alcançando as condições necessárias para se consolidar como um biocombustível viável e isso será demonstrado por meio de projetos de geração energética mais eficientes.

#### 4.2.1 Biogás e suas principais características

O biogás é gerado a partir da matéria orgânica complexa através da decomposição por microrganismos em um processo de digestão anaeróbica, sistemas artificiais para a geração de energia datam de longo tempo. Além disso, o processo de decomposição anaeróbica realizado por microrganismos considera alguns

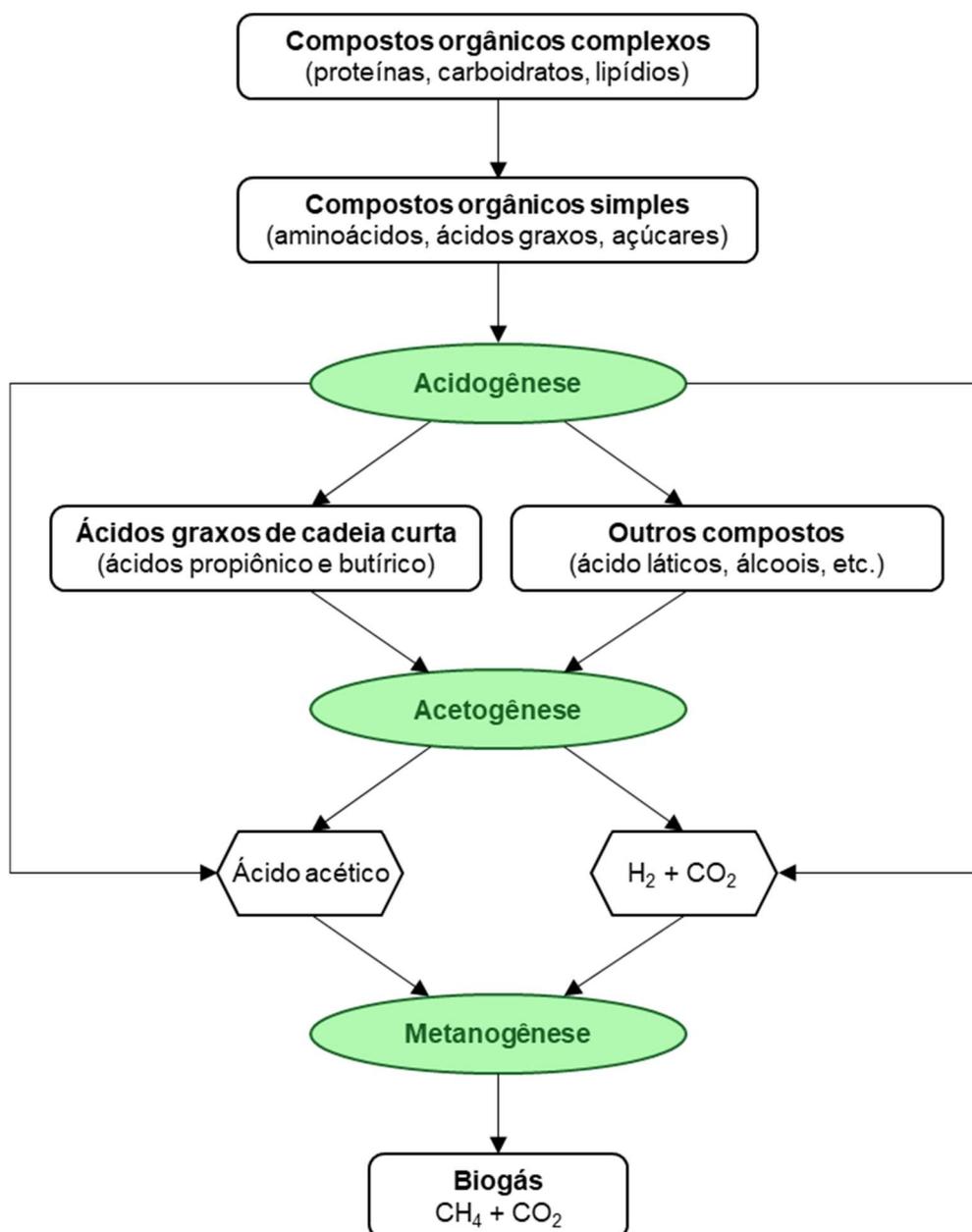
parâmetros físicos e químicos para efeito de controle, tais como, de temperatura, umidade e acidez. O principal componente do biogás é o metano (50% a 75%), seguido do dióxido de carbono (25% a 50%), também há pequenas frações de outros gases presentes e vapor d'água (PLUGGE, 2017).

O processo de geração do biogás consiste na decomposição de matéria orgânica em um meio anaeróbio em decorrência de quatro estágios, sendo eles, hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (DETMAN, 2021).

A hidrólise é o primeiro estágio e responsável pela transformação dos compostos orgânicos complexos em compostos orgânicos simples por meio de processos de degradação. Na segunda etapa, acidogênese, bactérias fermentativas geradas formam os ácidos graxos de cadeia curta, o dióxido de carbono e o hidrogênio. Na etapa seguinte, acetogênese, é formado o ácido acético, além de quantidades complementares de hidrogênio e dióxido de carbono, sendo necessário que as bactérias consumam hidrogênio e dióxido de carbono para que seja estabelecido o meio propício para as bactérias acetogênicas desempenharem o seu papel. Levando assim ao último estágio, a metanogênese, onde, o ácido acético, o hidrogênio e o dióxido de carbono são convertidos em metano (MEEGODA et al., 2019).

Na Figura 7 observa-se esse processo conforme suas quatro etapas.

Figura 7 – Processo de decomposição anaeróbica na geração do biogás



Fonte: ME-LE Akademie (2020)

Todos esses fatores apresentados de caracterização do processo produtivo são decisivos na escolha de qual tecnologia deverá ser utilizada para a combustão, limpeza e conservação dos equipamentos para a produção e utilização do biogás.

Para ser considerado como um biocombustível, o biogás necessita se enquadrar na Portaria nº 685/2017 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2017). Apresentando-se abaixo do nível máximo de

impurezas, o biogás passa a ser classificado como biometano e pode substituir o gás natural proveniente do petróleo em todas as aplicações já existentes. Nesse sentido, o biometano é considerado um combustível do tipo “drop-in”, pois seu uso não demanda modificações da malha instalada de redes de distribuição e armazenamento (KARGBO, HARRIS e PHAN, 2021).

O refino do biogás é uma etapa obrigatória para a obtenção do biocombustível e envolve etapas de “cleaning” e “upgrading”. Essas duas etapas, são processos que podem ocorrer simultaneamente, já que consiste na remoção de contaminantes gasosos indesejados. Para garantir a alta pureza no CO<sub>2</sub>, que é muito importante para a reutilização posterior, o processo a ser utilizado e o layout da planta influenciam o resultado desejado, visto que é necessário realizar o processo de limpeza antes da atualização para assim alcançar o objetivo de garantir a alta pureza no CO<sub>2</sub>. A etapa processo de limpeza consiste em remover do fluxo principal de gás os contaminantes menores, como H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> e H<sub>2</sub>O. Já na etapa de atualização ocorre o enriquecimento do CH<sub>4</sub> durante a remoção de grandes quantidades de CO<sub>2</sub> (HEROUT et al., 2011; PETERSON, 2013; BARBERA et al., 2019).

O biogás quando comparado ao gás natural, apresenta características energéticas muito similares, por isso tem sido considerado um substituto parcial ou integral do gás natural em muitas situações. O que gera um potencial competitivo entre esses dois combustíveis nas atuais circunstâncias de crise energética e desafios em relação à redução dos gases de efeito estufa é o fato do biogás ser proveniente de fontes renováveis, enquanto o gás natural é de origem não renovável. Além do fator ambiental, o ciclo produtivo do biogás pode ser descentralizado, de acordo com as potencialidades de cada região, uma vez que a biomassa necessária pode

apresentar diversas identidades e níveis de geração dependentes de especificidades regionais (ME-LE AKADEMIE, 2020).

Em termos de poder calorífico, o biogás na sua forma bruta, considerando o índice médio de 60% de metano, 35% de dióxido de carbono e uma pequena parcela de impurezas, apresenta capacidade calorífica inferior ao metano ou gás natural, porém, um aumento significativo de sua capacidade calorífica é obtido quando o biogás é submetido a processos de purificação para aumentar a parcela de metano na sua composição, podendo produzir o biometano (PENTEADO et al., 2018).

Na Tabela 2, compara-se o poder calorífico inferior do biogás com alguns outros tipos de gases.

**Tabela 2 – Comparativo do poder calorífico inferior de gases**

Tipo de Gás	Poder Calorífico Inferior (kcal/m <sup>3</sup> )
Metano	8.500
Propano	22.000
Butano	28.000
Gás de aterro	4.000
Gás Natural	8.554
Biogás	5.500

**Fonte: Genovese, Udaeta e Galvão (2006)**

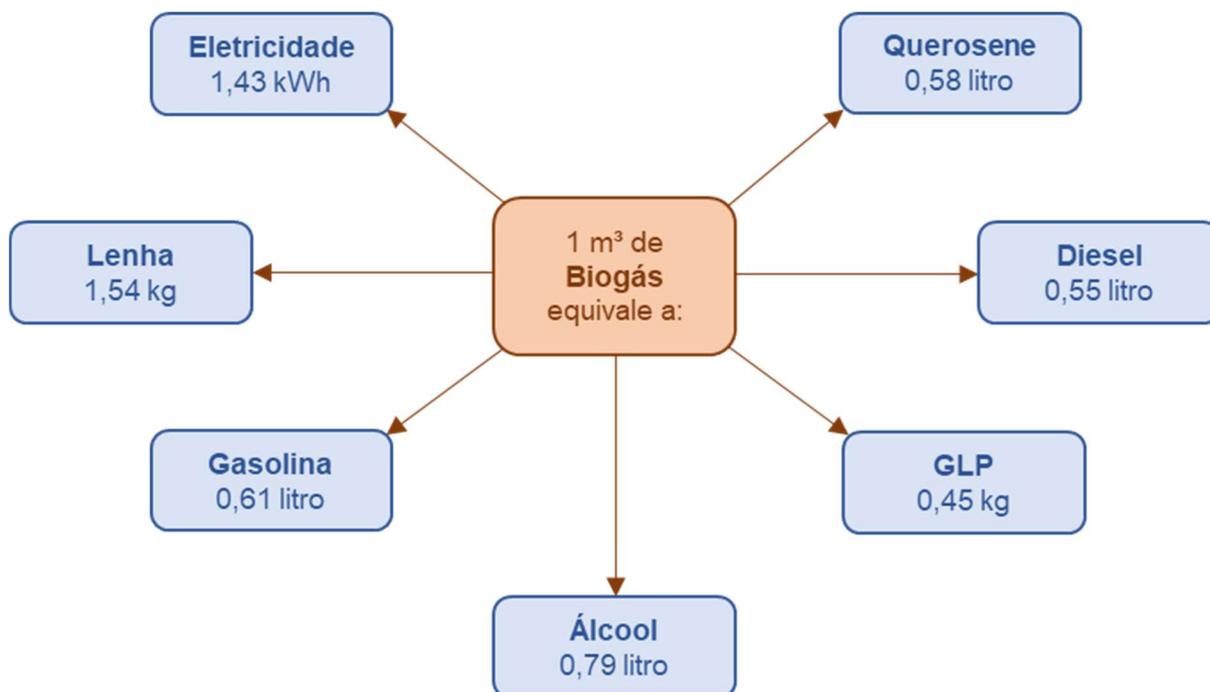
O fator que define o poder calorífico do biogás são os índices entre o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e o metano (CH<sub>4</sub>), sendo que, a elevação da concentração do teor de metano é fundamental para que a capacidade calorífica do biogás seja aumentada e o coloque em um patamar aceitável para ser utilizado como substituto do gás

natural. Em condições técnicas adequadas o biogás passa a ser classificado como biometano (AL MAMUN e TORII, 2017).

O biogás pode apresentar poder calorífico variável de acordo com o teor de metano, que pode variar de 40 a 75%, dependendo do tipo de biomassa utilizada na biodigestão anaeróbica. Conseqüentemente, seu poder calorífico pode variar de 2300 a 6300 kcal/m<sup>3</sup> (ZANK et al., 2020).

Pode-se comparar a equivalência energética do biogás bruto em relação a outras fontes de energia conforme já reportado por alguns autores. Na Figura 8 é apresentado o estudo comparativo realizado por Barrera (2017), que utiliza a referência de 1 m<sup>3</sup> de biogás para a equivalência realizada.

**Figura 8 – Equivalência energética do biogás em relação a outras fontes de energia**



Fonte: Barrera (2017)

#### 4.2.2 Produção de biogás a partir da cama de aviário

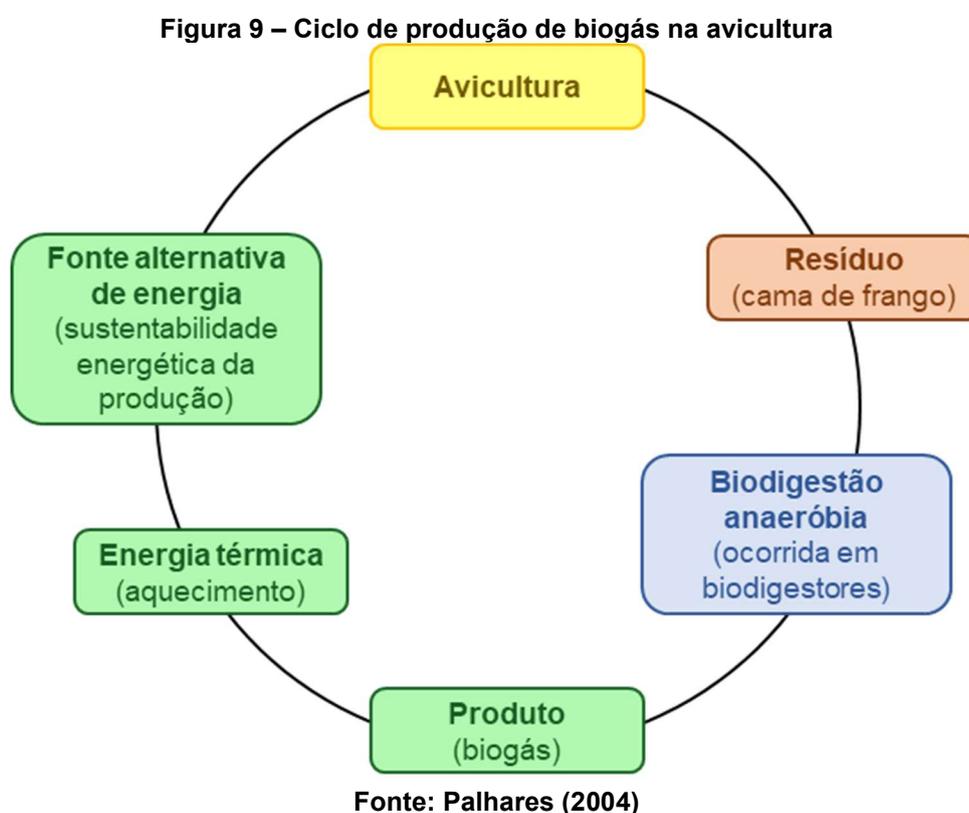
Diante do crescente aumento da produção de frangos de corte no Brasil, voltou-se a atenção para a cama de aviário residual, gerada após o período de criação das aves. Como mencionado anteriormente, a cama de aviário é a forração do aviário, e é constituída de palha de arroz, maravalha, entre outros materiais ricos em matéria orgânica. É nesse local que os frangos depositam suas excretas, há também presença de remanescentes da ração proveniente dos comedouros, além de penas das próprias aves (STAUB, SOUZA e TON, 2017).

A utilização desse tipo de tecnologia de biodigestão não é recente, em países desenvolvidos essa prática já é adotada há mais de trinta anos, sendo considerada uma excelente forma para o tratamento desses resíduos orgânicos ao mesmo tempo que gera energia e diversos benefícios. Na Europa, por exemplo, esse método é bastante adotado e várias plantas industriais podem ser identificadas naquele continente (CORRÊA e MIELE, 2011).

A produção de biogás na União Europeia (UE) é incentivada por políticas de energias renováveis, o que contribuiu para o crescente aumento da produção, que no ano de 2015 representou 50% da produção mundial de biogás, tornando a UE a maior produtora de biogás do mundo. De todas as fontes de biogás, a digestão anaeróbica é a que gera maior quantidade de biogás e, sendo a Alemanha o país que lidera a produção no bloco (SCARLAT, DALLEMAND E FAHL, 2018).

Conforme relatório anual da European Biogas Association – EBA (2019), na UE até o ano de 2018 foram constatados um total de 18.202 instalações produtoras de biogás com capacidade de produção elétrica de 11.082 MW e 63.511 GWh de produção de biogás.

Pode-se verificar na Figura 9 o ciclo de produção do biogás gerado a partir da cama de aviário.



No Brasil, uma das principais destinações da cama de aviário residual até o ano de 2004 era seu uso como complemento na nutrição de ruminantes, porém, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, através da Instrução Normativa nº 08 de 26 de março de 2004, proibiu a produção, a comercialização e a utilização de alguns produtos que eram destinados a esse fim em todo o país, incluindo a cama de aviário. Após essa proibição houve um aumento na necessidade de encontrar soluções sustentáveis para a destinação da cama de aviário residual.

Há várias razões para o reaproveitamento da cama de aviário, entre elas a diminuição do impacto ambiental causado pela destinação incorreta, o favorecimento de propriedades que se encontram em locais de difícil comercialização da cama de

aviário após a sua utilização, os custos de aquisição do produto, a mão-de-obra para a retirada da cama de aviário utilizada, a redução da utilização de lenha e a otimização do tempo ocioso (STAUB, SOUZA e TON, 2017).

### **4.3 Utilização do biogás na produção de energia elétrica**

Há vários fatores a serem analisados sobre a eficiência do biogás para geração de energia elétrica. Seu uso direto na forma bruta tem sido desestimulado por conta do potencial corrosivo do contaminante ácido sulfídrico ( $H_2S$ ). Referente ao biometano, a legislação brasileira atual por meio da Resolução ANP nº 8 de 30 de janeiro de 2015 exige que os níveis de contaminantes totais de enxofre não excedam  $70 \text{ mg/m}^3$ , e a quantidade de  $H_2S$  deve ser menor do que  $10 \text{ mg/m}^3$ .

É necessário remover o  $H_2S$  da mistura gasosa, esse processo é chamado de dessulfuração ou adoçamento, é um processo essencial para evitar que ocorra a corrosão de superfícies metálicas e ligas (RADZUAN et al., 2019). Outro fator a ser observado é que o  $H_2S$ , quando emitido, tem potencial de formar chuva ácida, sendo um fator de preocupação ambiental (JANGAM et al., 2021).

No trabalho de Pizzuti, Martins e Lacava (2016), foram abordados os limites da inflamabilidade do biogás, onde, foi constatado que quando comparado com o gás natural ou com o gás liquefeito de petróleo (GLP), o biogás, embora apresente um poder calorífico de 3.000 a 6.000  $\text{kcal/m}^3$  mais baixo, ele pode ser utilizado como combustível sem dificuldades porque possui energia química suficiente para alimentar o motor de combustão interna que servirá de base no processo de geração de calor e energia elétrica.

Também há a questão da cinética de oxidação e combustão do biogás, que, de acordo com Qian et al. (2017), o biogás apresenta um baixo número de cetano, e isso acarreta em uma combustão inadequada, já que o cetano é a relação do tempo com a injeção de combustível e o início da combustão. Essa combustão inadequada pode resultar em excesso de ruído e aumentar as emissões.

Outro fator a ser considerado é a variação energética química do biogás se for comparado com o consumo de gás natural em auge de produção de vapor em caldeira e com a energia elétrica que é enviada para a rede de distribuição, o que pode ser minimizado pelos processos de purificação que aumentam o teor de metano ao eliminarem os contaminantes minoritários e majoritários. Os parâmetros de operação do motor são determinados pela quantidade de energia elétrica produzida e pelo calor alcançado através do processo em motores de combustão interna, considerando as alterações nos valores de eficiência parcial da produção de energia e calor, que depende da razão de carga do motor (GAZDA e STANEK, 2016).

A Tabela 3 compara a eficiência entre a energia térmica e elétrica entre o gás natural e o biogás de acordo com a variação da taxa de carga em motor estacionário para os dois tipos de gás.

<b>Tabela 3 – Eficiência entre a energia térmica e elétrica do gás natural e do biogás</b>		
<b>Fator de Carga 80 %</b>	<b>Gás Natural</b>	<b>Biogás</b>
Eficiência Térmica (%)	47	44
Eficiência Elétrica (%)	39	41

**Fonte: Adaptado de Gazda e Stanek (2016)**

É possível converter os motores a diesel para funcionamento com combustíveis gasosos, esses motores são comumente conhecidos como motores de

combustível duplo ou motores a gásóleo. A utilização do biogás nesses motores a diesel convertidos, funciona bem e diminui as emissões de fumaça (YILMAZ e GUMUS, 2017).

De acordo com a pureza do biogás gerado, o mesmo possui diversas formas de utilização, Colmenar-Santos et al. (2016), realizou um levantamento sobre essas formas de utilização que pode ser:

- Geração de calor por meio da combustão;
- Inserção em redes de gás natural;
- Combustível para veículos automotores;
- Alimentação de células a combustível;
- Utilização em usinas de energia térmica solar como combustível reserva;
- Geração de energia elétrica por motores a combustão, caldeira e turbinas, sendo, puro ou adicionado a outro combustível.

A forma mais simples de aproveitamento do biogás é a produção de calor, a produção desse calor quando viável pode substituir outras fontes de energia renováveis, como a lenha, pellets e briquetes. Embora o biogás seja uma ótima fonte para a geração de calor, energia elétrica e para a cogeração, já para a utilização como combustível veicular é necessária uma grande quantidade de biogás para que o retorno seja satisfatório (LANTZ, 2012).

#### **4.4 Projeto RenovaBio**

No Brasil, fontes renováveis correspondem a 83% da produção total de energia elétrica, esse percentual divide-se em 63,8% hidrelétricas, 9,3% eólica, 8,9%

biomassa e biogás e, 1,4% solar centralizada. O Brasil está se destacando mundialmente pelo aumento da utilização das fontes renováveis, contribuindo cada vez mais com o desenvolvimento sustentável (GOVERNO DO BRASIL, 2020).

A Secretaria do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis do Brasil, criou o programa RenovaBio, que, de acordo com essa mesma secretaria, o programa RenovaBio é uma política de Estado que busca reconhecer a importância de todos os biocombustíveis, entre eles, encontra-se o biogás. Esses biocombustíveis são de suma importância para a estratégia na matriz energética brasileira, sendo que, contribuem com a segurança energética, a previsibilidade do mercado e a mitigação de emissões dos gases causadores do efeito estufa no setor de combustíveis. Visando proporcionar uma energia mais sustentável, competitiva e segura.

O RenovaBio tem em seu planejamento três eixos estratégicos, sendo eles, Metas de Descarbonização; Certificação da Produção de Biocombustíveis; e Crédito de Descarbonização (CBIO) (Secretaria do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2022).

O programa RenovaBio foi criado através da Lei nº 13.576 de 26 de dezembro de 2017, que dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. Sendo os seus objetivos, contribuir no atendimento aos compromissos assumidos pelo País no Acordo de Paris sob a Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima; Contribuir com a redução de emissões de gases causadores do efeito estufa, tanto na produção, na comercialização e no uso de biocombustíveis; Promover a expansão da produção e do uso de biocombustíveis na matriz energética nacional de forma adequada; e diante dos vários tipos de biocombustíveis disponíveis, contribuir de forma prevista com a participação no mercado nacional de combustíveis.

O programa RenovaBio tem como principal instrumento estabelecer as metas nacionais anuais de descarbonização para o segmento de combustíveis, para assim, poder incentivar que os produtores de biocombustíveis aumentem a produção e conseqüentemente a participação na matriz energética de transportes do país (ANP, 2022).

Conforme expresso na Resolução CNPE nº 15, de 24 de junho de 2019 (2022), *que define as metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis*, referente ao período estabelecido para a redução de emissões, a meta nacional estabelecida é de que no período do ano de 2019 a 2029 ocorra a redução de emissões para matriz de combustíveis.

Referente as metas nacionais estabelecidas pelo CNPE, nos termos da Resolução ANP nº 791/2019, de 12 de junho de 2019 (2022), que dispõe sobre a individualização das metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis, no âmbito da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio), as metas serão desdobradas anualmente em metas individuais compulsórias para os distribuidores de combustíveis fósseis de acordo com as suas participações no mercado de combustíveis fósseis.

O processo também conta com a certificação de produção de biocombustíveis, que, por meio dela, será atribuído um valor inversamente proporcional à intensidade de carbono do biocombustível produzido (Nota de Eficiência Energético-Ambiental) para cada produtor e importador de biocombustível. A origem da biomassa utilizada como matéria-prima também é levada em consideração (ANP, 2022).

#### **4.5 Projeto Smart Energy Paraná**

No estado do Paraná há alguns anos foi sancionado o Decreto nº 8842 de 04 de setembro de 2013 que dispõe sobre a criação do Projeto Smart Energy Paraná e, no dia 05 de novembro de 2018 foi publicado no Diário Oficial nº 10308 o Decreto nº 11538 que, trata sobre a criação do Projeto Smart Energy Paraná e revoga o Decreto nº 8842 de 04 de setembro de 2013 publicado anteriormente.

O governo do estado do Paraná criou o Projeto de Smart Energy Paraná como parte do Programa Paranaense de Energias Renováveis, que é coordenado pelo Instituto de Tecnologia do Paraná (TECPAR), tendo vínculo com a Secretaria de Estado da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior do Paraná, tendo como objetivo a geração de energias renováveis vinculadas a redes inteligentes (Agência de Notícias do Paraná, 2018).

O Decreto visa alcançar alguns objetivos, entre eles, promover e disseminar a geração de energias renováveis para serem distribuídas, com foco principal na energia gerada pelas fontes eólica, fotovoltaica, biomassa, biogás, pequena central hidrelétrica (PCH), central geradora hidráulica (CGH) e, resíduos sólidos urbanos (Decreto nº 11538, 2018).

Para isso, foi estabelecido que alguns órgãos e entidades fossem membros da governança nesse projeto, entre eles, representantes de secretarias do estado, o TECPAR, a Copel, a Sanepar, a Compagas, a Itaipu Binacional, a Federação das Indústrias do Estado do Paraná (Fiep), a Federação da Agricultura do Estado do Paraná (Faep), a Rede Brasileira para o Desenvolvimento da Metrologia, Tecnologia e Qualidade, a Lactec e, universidades estaduais e federais do Paraná (Agência de Notícias do Paraná, 2018).

O TECPAR gerencia a plataforma *on-line* do Projeto Smart Energy Paraná, onde pode-se verificar dados confiáveis sobre as energias renováveis, cursos e exposições de tecnologias, empresas que atuam no Brasil com energias renováveis e consultoria ambiental, também incentiva a pesquisa científica no meio acadêmico através da Revista Smart Energy (Smarty Energy, 2020).

O Projeto Smart Energy Paraná é um avanço no campo de pesquisa e desenvolvimento na geração e distribuição de energias renováveis.

#### **4.6 Biofertilizante resultante no processo de biodigestão**

No processo de biodigestão da cama de aviário é gerado o biogás e, após o término do processo de geração do biogás, o resultado é o biofertilizante resultante da cama de aviário que foi processada.

De acordo com Aeres (2009), nas últimas décadas muitos estudos foram realizados para avaliar a biodigestão anaeróbica dos dejetos dos frangos, visto que a produção de frangos de corte teve um grande crescimento no país nesse mesmo período. A biodigestão anaeróbica é uma forma de bioconversão, que proporciona diversas vantagens, como:

- A conversão do resíduo em gás metano podendo ser utilizado diretamente como fonte energética;
- A redução da emissão de amônia;
- O controle de odores;
- O biofertilizante, que é o efluente resultante do processo de biodigestão e pode ser utilizado na lavoura, já que o mesmo contém diversos

minerais e também contribui com o retorno financeiro do investimento realizado na instalação do sistema de biodigestão.

Conforme Corrêa e Miele (2011), para a aplicação do biofertilizante resultante da cama de aviário, deve-se sempre seguir os critérios agronômicos para definir como e quanto deve ser aplicado no solo, podendo ser suficiente somente o biofertilizante ou necessário aplicação de outros fertilizantes minerais. Por isso, deve-se sempre ser analisado por um profissional competente para que não haja prejuízos ambientais, visto que é necessário analisar vários critérios antes da aplicação do biofertilizante para que não haja alguns efeitos, como por exemplo, esgotamento do solo e erosão.

## **5 MATERIAS E MÉTODOS**

### **5.1 Metodologia da pesquisa**

A metodologia de pesquisa, nominada de pesquisa aplicada, utilizada para o desenvolvimento desse trabalho está de acordo com a proposta de Kauark, Manhães e Medeiros (2010), pois a mesma implica em verdades e interesses locais e, gera informações que são aplicadas de forma prática e direcionada para solucionar problemas específicos.

A abordagem qualitativa da problemática pesquisada está relacionada ao foco principal do processo, baseado na interpretação de fenômenos e, também, na atribuição de significado, sendo uma abordagem descritiva. Foi utilizada a aplicação de pesquisa exploratória, que apresenta como principal preocupação o cuidado para que o problema abordado tenha maior compressão, levando a construção de hipóteses, tendo como principal embasamento a pesquisa bibliográfica (KAUARK, MANHÃES e MEDEIROS, 2010).

Nos procedimentos técnicos, foi utilizado a pesquisa bibliográfica, onde, a mesma é embasada na ampla base de dados publicados e disponíveis, destacando-se os livros, artigos publicados em periódicos e material disponibilizado em sítios da internet. Também foi utilizada a pesquisa documental, que é bem similar a pesquisa bibliográfica, porém, tem como diferenciação o fato de que nessa modalidade são utilizadas fontes primárias e, na pesquisa bibliográfica são utilizadas fontes secundárias. São exemplos de fonte primária na pesquisa documental, documentos oficiais, publicações parlamentares, publicações administrativas, documentos jurídicos e fontes estatísticas (HEERDT e LEONEL, 2007).

Já para obter os resultados da pesquisa, foi aplicado o método da lógica dedutiva, que consiste em combinar as ideias através da interpretação, apresentando assim, um valor maior que a experimentação caso a caso. Para tanto, utilizou-se a dedução, que é quando o raciocínio caminha do geral para o particular (KAUARK, MANHÃES e MEDEIROS, 2010).

## **5.2 Biomassa para o biodigestor**

A biomassa utilizada no processo de biodigestão anaeróbica foi doada pelo condomínio avícola localizado na Estrada Terra Roxa, Km 06, s/n, Mandaguari-Pr. Sendo uma propriedade de 5,64 hectares que possui quatro aviários de 2.400 m<sup>2</sup> cada nas medidas de 16 x 150 metros, o tipo de aviário é o “dark house”, com capacidade de produção de 32.400 aves alojadas por ciclo, sendo que, cada ciclo tem duração de, aproximadamente, 60 dias. O material utilizado como cama de aviário é palha de arroz, o tempo para a troca da cama de aviário é de seis lotes, ou seja, seis ciclos, ou seja, a troca é realizada uma vez ao ano e, a quantidade retirada é de 220 toneladas de cama de aviário por aviário.

O conceito de aviário do tipo “dark house” é de origem americana e tem se difundido bem no sul do Brasil e, embora tenha um custo mais alto para a implementação, esse sistema resulta no melhor desempenho do aviário, já que apresenta eficiência elevada, taxa de mortalidade menor, tempo de alojamento menor e, capacidade de alojamento de aves maior. Uma outra característica importante desse tipo de aviário é nível mais elevado de conforto para a ave, pois é possível regular de forma mais efetiva a temperatura e a luminosidade, evitando que o animal se estresse ou acabe se ferindo (RODRIGUES e YADA, 2018).

Pode-se verificar na Imagem 1, na Imagem 2 e na Imagem 3 a estrutura e o local do aviário “dark house” onde foi realizado a coleta do material. As imagens foram obtidas no dia em que foi realizada a coleta da cama de aviário para o experimento.

**Imagem 1 – Vista do ângulo dos exaustores e silos de ração**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

**Imagem 2 – Vista do ângulo da porta de acesso para maquinários**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

**Imagem 3 – Vista interna a partir da porta de acesso de maquinários**



**Fonte: Autoria própria (2020)**

A cama de aviário utilizada para os testes foi coletada no aviário após a retirada do sexto lote de frangos alojados, que é o momento em que a cama de aviário geralmente é trocada nos aviários. A cama de aviário foi coletada no dia 17 de fevereiro de 2020 em 20 pontos distintos dentro do aviário para gerar uma amostra homogênea. A coleta foi realizada com uma pá devidamente limpa e o material coletado foi armazenado em um saco de polietileno preto, que ficou armazenado em local fresco e a sombra após a coleta.

A ração que é ofertada aos frangos faz muita diferença no resultado da cama de frango coletada, conforme informado pela administração do condomínio avícola que forneceu a biomassa, a ração que é ofertada aos frangos tem mudança nos percentuais dos componentes, mas os componentes são os mesmos desde o início até o final do lote de frangos alojados. A ração é composta principalmente por milho e farelo de arroz, sendo que esses dois ingredientes somam em média 88% dos componentes da ração, o restante é composto por farinha de vísceras, gordura de aves, sal granulado iodado, calcário calcítico, fosfato bicálcico granulado, cloreto de colina líquido, lisina líquida, metionina líquida, l-treonina, premix de aminoácidos e uma pré-mistura que não é informada do que é composta pela integradora.

### **5.3 Caracterização da cama de aviário e do biofertilizante**

Para a caracterização da cama de aviário coletada foi realizada a análise de composição mineral considerando os seguintes elementos químicos: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), ferro (Fe), sódio (Na), zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn), além dos parâmetros umidade e potencial hidrogeniônico (pH). A definição das análises a serem realizadas foi embasada nas análises

encontradas na literatura, porém a maior parte da literatura não realiza essa análise completa e sim, somente alguns dos elementos, com destaque para o N, P, K. O mesmo conjunto de análises foi aplicado na caracterização do biossólido formado após processo de biodigestão para avaliação e comparação das mudanças composicionais. Todas essas análises de caracterização foram realizadas pelo Instituto de Tecnologia e Laboratórios (ITL), localizado em Londrina-Pr, na forma de serviço contratado.

A determinação dos teores de Ca, Mg, Cu, Mn, Zn e Na foi realizada por meio do processo de digestão total da matéria orgânica à base de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ) conforme processo registrado por Bataglia (1983). Os teores de Fe e K foram determinados por espectrometria de absorção atômica em chama acetileno/ar comprimido.

Na determinação do teor de N foi utilizado um destilador micro, que tem por princípio transformar o nitrogênio amoniacal  $(NH_4)_2SO_4$  em amônia ( $NH_3$ ), de acordo com a metodologia apresentada por Silva (1981).

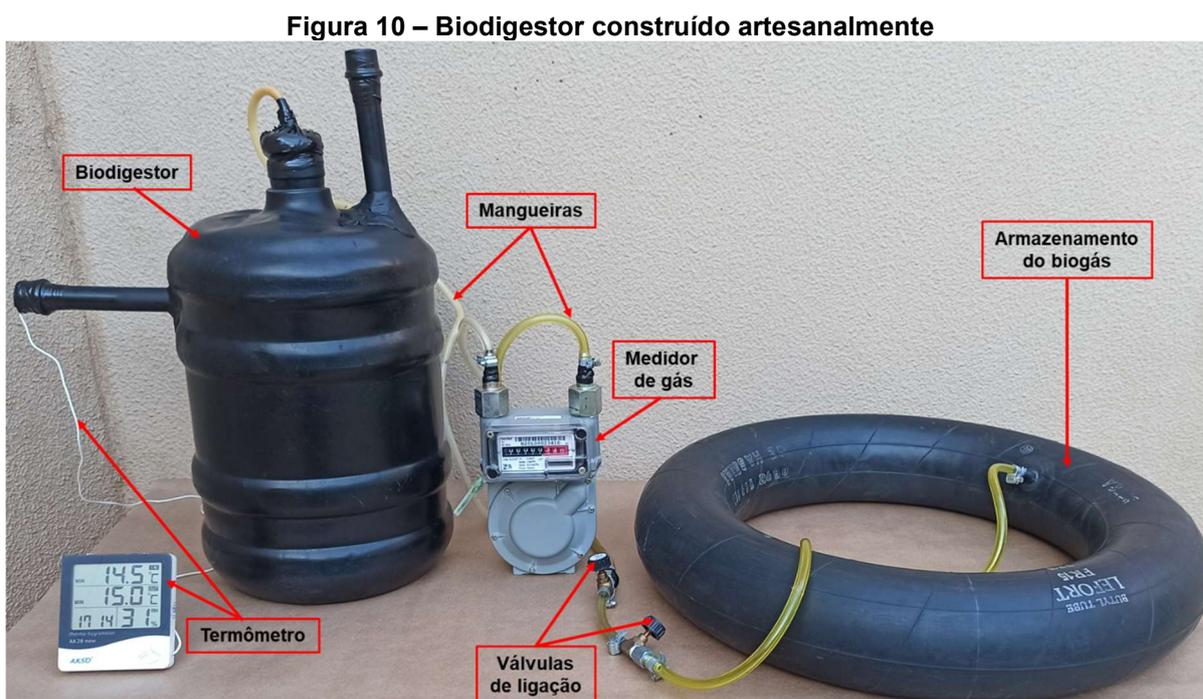
Já para determinação do teor de P foi utilizado o método colorimétrico para medidas em um espectrofotômetro, por meio de uma curva de calibração construída pela medida de soluções preparadas por sucessivas diluições de um padrão na faixa de 0 a 52 mg de P/mL conforme a metodologia apresentada por Malavolta, Vitti e Oliveira (1991).

Para a determinação da matéria seca foi utilizado o método de secagem em estufa, onde foram realizadas duas etapas de secagem, a de pré-secagem  $50\text{ }^\circ\text{C}$  por 4 horas e, a secagem definitiva  $110\text{ }^\circ\text{C}$  até peso constante. Finalmente, o pH foi medido em solução de cloreto de cálcio  $0,01\text{ mol/L}$ .

## 5.4 Biodigestor

Existem vários tipos de biodigestores, sendo que um deles é denominado digestor doméstico ou digestor hidráulico, cuja cúpula é fixa e apresenta funcionamento simples e prático. Esse tipo de digestor é utilizado no tratamento de resíduos, entre eles, os resíduos da pecuária e da avicultura. Esses digestores são amplamente utilizados na China, que possui um amplo histórico em utilização dessa técnica (DENG, et al., 2017).

Neste trabalho utilizou-se um sistema de biodigestão construído artesanalmente, consistindo de um reservatório principal e saídas para direcionar o biogás até o reservatório, um termômetro para monitoramento da temperatura, um medidor de vazão de gás, além de um conjunto de válvulas e mangueiras, conforme demonstrado na Figura 10.



Fonte: Autoria própria (2021)

Esse modelo de biodigestor permitiu estudar a biodigestão da biomassa em processo tipo batelada e o monitoramento do volume de biogás produzidos, bem como o monitoramento dos parâmetros de reação ao longo do processo.

Referente aos componentes apresentados na Figura 10, segue detalhadamente.

**Biodigestor:** Galão para água com capacidade de vinte litros pintado de preto para bloquear a incidência de luz solar e, canos de plástico PVC 3/4 com CAP plástico 3/4 como válvula de escape, caso necessário.

**Medidor de gás:** Medidor de gás predial para quantificar a produção do biogás, o modelo utilizado é o medidor de gás G 1.0 entrada e saída 3/4 da Lao Indústria. Conforme dados técnicos apresentados pelo fabricante, esse medidor pode medir gás natural, apresentando a vazão máxima de 2,3 m<sup>3</sup>/h, a vazão mínima de 0,016m<sup>3</sup>/h, a vazão de início de funcionamento de 0,002 m<sup>3</sup>/h, a pressão máxima de trabalho de 50 a 100 kPa, a capacidade cíclica de 0,4 dm<sup>3</sup>. O gás natural tem peso específico em relação ao ar de 0,64, a leitura máxima é de 99999,999 m<sup>3</sup> e, a leitura mínima é de 0,2 dm<sup>3</sup>.

**Termômetro:** Com indicação de temperatura interna e externa e armazenamento da temperatura mínima e máxima atingida no dia, também indica e armazena a umidade relativa do ar, o modelo utilizado é da Asko, o termo-higrômetro digital com sensor externo e relógio AK28 New. Conforme dados técnicos fornecidos pelo fabricante, a faixa de medição da umidade relativa do ar é de 20 a 99%, com resolução de 1% e, exatidão de 5% aproximadamente. Uma faixa de medição da temperatura é de -50 a 70 °C, esse medidor foi utilizado para medir a temperatura interna do biodigestor. A outra faixa de medição da temperatura é de -10 a 50 °C e foi

utilizado para medir a temperatura externa do biodigestor. Ambos os medidores apresentam a resolução de 0.1 °C e a exatidão de aproximadamente 1 °C na faixa de -10 a 50 °C e, aproximadamente 1,5 °C no restante da faixa.

Mangueiras: Mangueira de silicone 3/4 para conduzir o biogás produzido para o armazenamento.

Válvulas: Válvulas de ligação da mangueira para fácil troca da câmara de biogás, onde, a mesma válvula pode ser utilizada na saída do biogás produzido.

Armazenamento do biogás: O biogás produzido é armazenado em câmaras de biogás, são três no total para coletar o biogás, o modelo utilizado é câmara de ar veicular aro 15.

Esse medidor de gás utilizado no experimento foi adquirido exclusivamente para esse projeto.

## **5.5 Experimentos de biodigestão**

Para os experimentos de biodigestão foi utilizado uma proporção mássica biomassa/água igual a 0,678 (0,678 kg de biomassa para cada 1 litro de água).

Como o biodigestor produzido possui capacidade máxima de armazenamento de 20 litros, foi utilizado somente 18 litros para manter um volume livre para manuseio da biomassa se necessário. Em outras palavras, utilizou-se 6,102 kg de biomassa e 9 litros de água, totalizando um volume total de, aproximadamente, 18 litros.

Durante o período do experimento, alguns parâmetros experimentais foram monitorados, sendo eles, a produção de biogás em litros por dia, a condição meteorológica e, a temperatura mínima e máxima interna e externa do biodigestor. Referente ao monitoramento das temperaturas, a temperatura externa monitorada é

a temperatura no exato local que estava o biodigestor, conforme pode-se verificar na Figura 9 onde está o termômetro foi monitorada a temperatura nesse local, já a temperatura interna foi monitorada através do fio que é conduzido ao mesmo termômetro.

Já as informações referentes a pressão atmosférica e umidade relativa foram fornecidas pelo Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná – Simepar (2021), conforme pode-se verificar no Apêndice B, Tabela B2. Com os dados fornecidos pelo Simepar foi possível a realização do cálculo de conversão da produção de biogás para a unidade de medida Normal metro cúbico por hora (Nm<sup>3</sup>/h).

A unidade de medida Nm<sup>3</sup>/h é comumente utilizada para expressar a vazão de gases, visto que, quando se utiliza a unidade de medida m<sup>3</sup>/h para uma vazão volumétrica, a mesma não traz a informação de qual a quantidade de gás está sendo movimentada devido às variações de pressão e/ou da temperatura do gás. Para que se obtenha um valor da produção de gás de forma mais fiel à verdadeira quantidade de gás produzida, é utilizado o Nm<sup>3</sup>/h, cujos valores podem ser obtidos pela conversão dos dados medidos em m<sup>3</sup>/h.

A conversão de unidades é regida pelas leis dos gases, considerando correções baseadas na temperatura do ar (experimental e padrão), bem como da pressão do ar (experimental e padrão). Dessa forma, considerando que o volume dos gases é diretamente proporcional a temperatura e inversamente proporcional a pressão, pode-se escrever a seguinte igualdade (Equação 1):

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad (1)$$

Onde:

$P_1$  = Pressão padrão dos gases (1,013 bar, CNTP);

$V_1$  = Volume dos gases produzidos ( $\text{Nm}^3$ );

$T_1$  = Temperatura padrão dos gases (273,15 K; CNTP);

$P_2$  = Pressão dos gases produzidos (bar);

$V_2$  = Volume dos gases produzidos ( $\text{m}^3$ );

$T_2$  = Temperatura dos gases produzidos (kelvin).

Para um ambiente úmido, deve ser considerada ainda a pressão parcial do vapor d'água e a umidade do ar. A conversão dos dados de vazão de  $\text{m}^3$  para  $\text{Nm}^3$  pode ser realizada pelo uso de dois fatores de conversão, um relativo à temperatura e outro às pressões envolvidas. Assim, a Equação 2 pode ser escrita com o termo referente à pressão incorporando o fator umidade e pressão de vapor d'água. A seguinte expressão representa a conversão dos dados:

$$V_{(\text{Nm}^3)} = V_{(\text{m}^3)} \left( \frac{T}{T_1} \right) \left( P_1 - \left( \frac{P_v (R_h/100)}{P} \right) \right) \quad (2)$$

Onde:

$T$  = Temperatura padrão dos gases (273,15 K = 0 °C);

$T_1$  = Temperatura dos gases produzidos (K, kelvin);

$P$  = Pressão padrão dos gases (1,013 bar);

$P_1$  = Pressão dos gases produzidos (bar);

$P_v$  = Pressão parcial de vapor da água (bar);

$R_h$  = Umidade do ar relativa local (%).

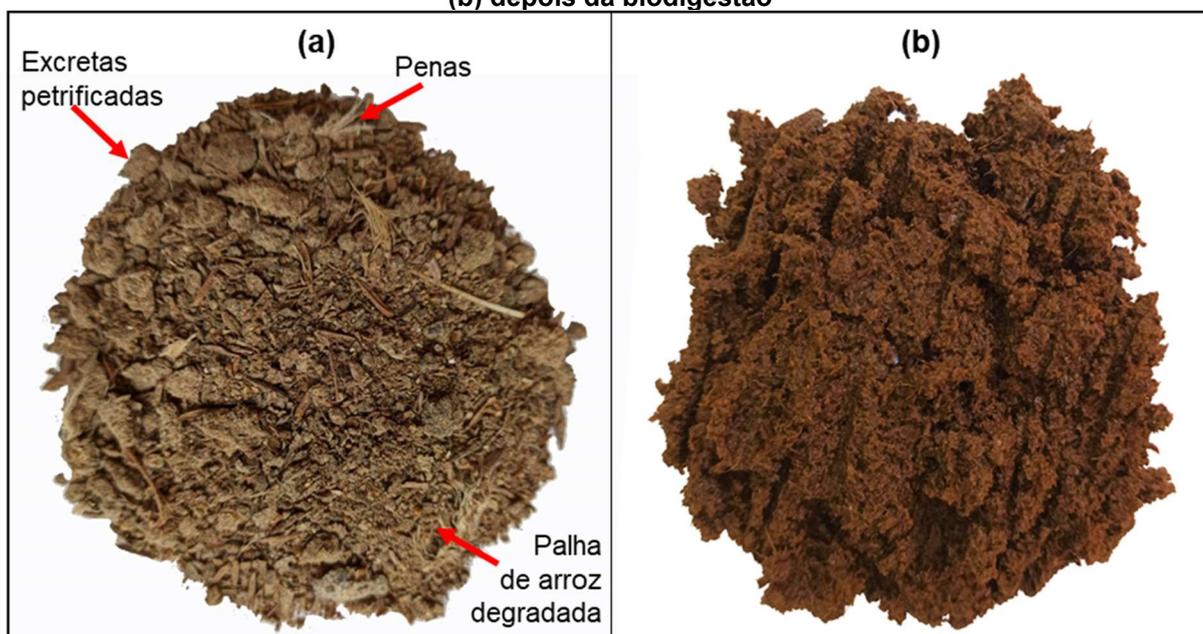
## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os resultados dos experimentos realizados estão apresentados separadamente, sendo que, foi analisado a composição química da cama de aviário coletada para o processo, a composição química da cama de aviário após concluído o processo de biodigestão para verificar o potencial do bio sólido como biofertilizante. Também foi desenvolvido o biodigestor utilizado nesse experimento e, foi quantificado a produção do biogás gerado no período estabelecido.

### **6.1 Análise da composição química da cama de aviário coletada e após o processo de biodigestão**

A amostra de cama de aviário apresentou características típicas para esse tipo de material residual, incluindo fácil desagregação dos grumos e forte odor devido à presença de excretas das aves. Para o processo de biodigestão, foi estabelecido um período de corte da produção de biogás após 60 dias. A Figura 11 apresenta um comparativo entre as duas amostras de cama de aviário coletada, antes e após o processo de biodigestão.

**Figura 11 – Comparativo entre as amostras de cama de aviário coletadas (a) antes e (b) depois da biodigestão**



**Fonte: Autoria própria (2021)**

Na Figura 11a é possível ver os principais componentes da amostra indicados pelas setas vermelhas, tais como os fragmentos de excretas, penas e palha de arroz degradada. Na Figura 11b, por sua vez, nota-se que o processo de biodigestão resultou em um alto nível de homogeneização do biossólidos formado, não sendo mais possível observar os componentes indicados anteriormente. Além disso, o material biodigerido parece apresentar alguns poros e menor densidade que o material não biodigerido.

Em termos de composição química, de acordo com a Instrução Normativa nº 61 de 08 de julho de 2020 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa Agropecuária, o nitrogênio, fósforo e potássio (NPK) representam os macronutrientes primários; o cálcio e o magnésio são macronutrientes secundários e, o cobre, o ferro, o manganês e o zinco são

micronutrientes. Com base nisso, a composição química da cama de aviário analisada apresenta parâmetros caracterizados como macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes NPK são de suma importância para o desenvolvimento e manutenção dos vegetais cultivados. Por meio de síntese metabólica, esses macronutrientes são os responsáveis pelos processos de respiração, fotossíntese, germinação e floração. Quando o solo apresenta a escassez desses nutrientes, é necessário a adubação para suprir as necessidades das plantas e garantir o desenvolvimento dos vegetais (PRADO, 2020).

Tessaro et al. (2015) realizou um estudo onde foram coletadas 45 amostras de locais distintos da região de Londrina/PR. Os macronutrientes NPK, bem como cálcio e magnésio, foram monitorados e comparados aos resultados reportados por Carneiro et al. (2004). Os estudos não especificaram o lote da cama de aviário no momento da coleta das amostras e também não foi especificado os tipos de material que compunham a cama de aviário analisada.

Valadão et al. (2011) realizou análises de cama de aviário resultante da composição de casca de arroz, esterco de aves, restos de ração e penas, sendo a mesma composição da cama de aviário analisada neste presente estudo, porém, não foi informado em quantos lotes de criação de frangos a cama de aviário foi coletada para as análises. Essa informação é relevante uma vez que as excretas das aves, que sofrem um processo de acúmulo ao longo do tempo, são responsáveis pela composição química do material residual.

Andrade et al. (2015) também realizou um estudo e apresentou alguns resultados de análises referente à composição da cama de aviário. Não foi, entretanto, apresentado no estudo qual a composição da cama de aviário e com quantos lotes a cama de aviário foi coletada para a análise.

Passos, Rezende e Carvalho (2014), em um estudo de aplicação da cama de aviário e outros componentes na agricultura realizaram a análise química da cama de aviário. O estudo não apresenta as informações sobre qual o material da cama de aviário e de quantos lotes a amostra analisada havia recebido.

Richart, Gibbert e Müller (2014), também em um estudo relacionado a agricultura, analisaram a cama de aviário que havia sido utilizada por seis lotes de frangos e que foi coletada em um aviário na cidade de Toledo/PR. Mais uma vez, não foi informado qual o material da cama de aviário coletada.

Guimarães et al. (2016), em um estudo sobre aplicação no solo para a agricultura em Coimbra/MG, também analisou uma amostra de cama de aviário que foi coletada com o uso de somente um lote de frangos. Nesse caso, a composição da cama foi informada como composta por casca de café.

A análise da composição química da cama de aviário antes e após a biodigestão foi realizada por laboratório contratado e os resultados foram expressos em base seca.

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos para a composição química da cama de aviário e resultados reportados por vários outros autores para efeito de comparação.

Tabela 4 – Comparativo da análise da composição química da cama de aviário realizada com relação a literatura

## Resultados

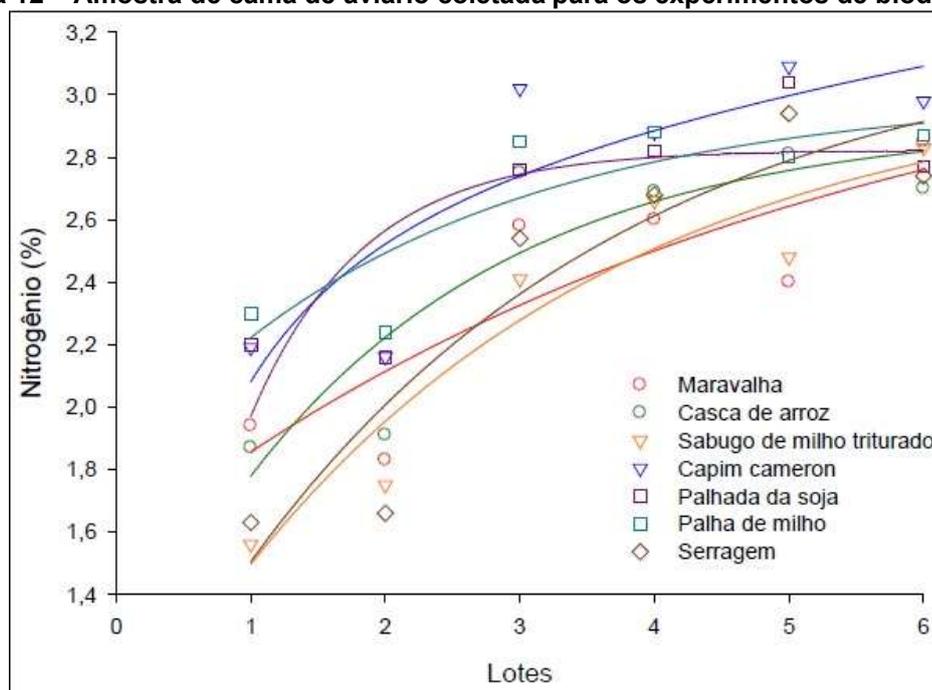
Parâmetro	Este trabalho	Tessaro et al. (2015)	Carneiro et al. (2004)	Valadão et al. (2011)	Andrade et al. (2015)	Passos, Rezende e Carvalho (2014)	Richart, Gibbert e Müller (2014)	Guimarães et al. (2016)
Cálcio (g/kg)	31,00	23,6	23,3	64,20	21,10	31,00	47,50	23,90
Cobre (mg/kg)	119,00	-	-	233,30	-	119,00	155,00	67,00
Ferro (mg/kg)	235,00	-	-	2.274,90	-	2.324,00	13.300,00	2.134,00
Fósforo (g/kg)	8,50	13,6	13,6	37,70	10,50	8,50	29,22	11,90
Magnésio (g/kg)	11,50	5,0	6,7	7,80	3,80	11,50	10,00	7,10
Manganês (mg/kg)	121,00	-	-	194,50	-	691	1230,00	538,00
Umidade (%)	41,75	-	-	45,00	-	-	-	-
Nitrogênio (g/kg)	44,00	26,6	0,2	40,00	36,80	44,00	40,84	35,40
pH	7,40	-	-	8,00	7,80	7,40	7,00	7,20
Potássio (g/kg)	2,85	26,3	23,4	32,00	26,90	37,00	33,00	29,60
Sódio (g/kg)	4,50	-	-	-	-	4,50	-	4,96
Zinco (mg/kg)	224,00	-	-	308,00	-	624,00	880,00	530,00

Fonte: Autoria própria (2021)

Ao analisar o comparativo dos resultados obtidos na Tabela 4, nota-se a ausência de alguns nutrientes devido ao planejamento experimental de cada autor. Os principais nutrientes, NPK, cálcio e magnésio foram analisados em todos os estudos utilizados como referência e nota-se que os resultados encontrados diferem entre os diferentes autores. De fato, há vários fatores que podem influir no resultado das análises de substratos heterogêneos tal como a cama de aviário.

De acordo com Corrêa e Miele (2011), o teor dos nutrientes varia de acordo com a composição da cama de aviário e da quantidade de lotes que foram alojados no aviário. Esses autores estudaram a variação do teor de nitrogênio de acordo com a composição da cama de aviário e do lote de aves (Figura 12).

**Figura 12 – Amostra de cama de aviário coletada para os experimentos de biodigestão**



Fonte: Corrêa e Miele (2011)

Nota-se na Figura 12 que, apesar do teor de nitrogênio variar com o tipo de material que compõe a cama de aviário, ele aumenta de acordo com o número de lotes, ou seja, com a quantidade de ciclos de aves que foram alojadas na mesma

cama de aviário. O aumento do teor de nitrogênio ao longo do tempo de uso de uma mesma cama de aviário se deve, principalmente, ao acúmulo de excretas das aves.

Embora note-se por meio da Tabela 4 variações nas concentrações de todos os nutrientes, somente as concentrações de ferro e potássio obtidas para a amostra analisada neste trabalho apresentaram uma discrepância mais importante em relação aos dados da literatura, sendo que em ambos os casos a concentração obtida foi cerca de dez vezes menor que a concentração média reportada pela literatura, como o ferro total alcançando 235 mg/kg e o potássio 2,85 g/kg. Esses níveis serão discutidos em termos de bio sólido formado após biodigestão.

O processo de biodigestão da cama de aviário foi mantido por 60 dias com acompanhamento da produção de biogás ao longo do período. A biomassa biodigerida apresentou aspecto diferente do inicial (Figura 11) e teve sua composição química analisada para efeito de comparação. Os resultados são apresentados na Tabela 5 de forma comparativa aos resultados mostrados na Tabela 4.

**Tabela 5 – Análise da composição química da cama de aviário antes e após o processo de biodigestão**

<b>Parâmetro</b>	<b>Antes da biodigestão (Tabela 4)</b>	<b>Após a Biodigestão</b>	<b>Variação (%)</b>
Cálcio total (g/kg)	31,00	30,65	-1,0
Cobre total (mg/kg)	119,00	125,00	+5,0
Ferro (mg/kg)	235,00	265,00	+13,0
Fósforo total (g/kg)	8,50	9,52	+12,0
Magnésio (g/kg)	11,50	12,30	+7,0
Manganês (mg/kg)	121,00	165,00	+36,0
Umidade (%)	41,75	35,80	+6,0
Nitrogênio total (g/kg)	44,00	48,00	+9,0
pH	7,40	7,22	-0,2
Potássio (g/kg)	2,85	3,65	+28,0
Sódio (g/kg)	4,50	3,52	-20,0
Zinco (mg/kg)	224,00	235,00	+5,0

**Fonte: Autoria própria (2021)**

Os níveis em termos de elementos químicos mostraram, em geral, aumento discreto no material biodigerido, conforme pode ser visto na coluna “variação”. Como o processo de biodigestão anaeróbica contempla majoritariamente etapas que envolvem a transformação da matéria orgânica da amostra (i.e. hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese), a fração inorgânica e bioinorgânica da biomassa estudada parece ter se mantido relativamente estável e, dessa forma, foi concentrada no digestato. Manganês e potássio foram os elementos que apresentaram os aumentos mais significativos, alcançando 36,0 e 28,0%,

respectivamente. Dada a aparente estabilidade de seus compostos e eventuais sobredosagens, o manganês é excretado, acumula-se na cama do aviário mesmo após a biodigestão anaeróbica.

Como mencionado anteriormente, o potássio é um macronutriente e possui um importante papel como ativador de dezenas de importantes enzimas, tais como aquelas envolvidas diretamente na síntese de proteínas, no transporte de açúcares, no metabolismo de compostos nitrogenados e carbonáceos, e na fotossíntese (XU et. al., 2020). Dessa forma, sua presença em níveis equilibrados com nitrogênio e fósforo na composição de um biofertilizante é fundamental para a aplicação do material no solo. Em geral, os fertilizantes industrializados apresentam uma proporção mássica N:P:K próxima a 1:1:1 (IHS MARKIT, 2022), com variações devido às diversas especificidades de cada produto.

Ao analisar os teores dos macronutrientes NPK no digestato, nota-se que o teor de nitrogênio total é de 5 a 13 vezes superior aos teores de fósforo e potássio, confirmando as considerações feitas para a biomassa utilizada, ou seja, que as excretas das aves, ricas em compostos nitrogenados, são um componente importante do material e permanecem entre os mais elevados teores após a biodigestão anaeróbica.

O teor de umidade sofreu decréscimo de, aproximadamente, 6,0%, e esse foi classificado como inconclusivo, uma vez que a mistura levada ao biodigestor foi preparada com a adição de elevada quantidade de água, o que resultou em um digestato com alto teor de umidade, cuja secagem parcial foi possível por meio de evaporação durante o tempo de exposição à atmosfera.

De acordo com a Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento/Secretaria de Defesa

Agropecuária, que apresenta entre outros fatores regulatórios, as tolerâncias para os fertilizantes são as seguintes (Tabela 6).

**Tabela 6 – Requisitos mínimos para fertilizantes orgânicos**

<b>Parâmetro</b>	<b>Teor mínimo (%)</b>
Cálcio total	1,0
Cobre total	0,02
Ferro	0,02
Fósforo total	1,0
Magnésio	1,0
Manganês	0,02
Umidade	60,0
Nitrogênio total	1,0
Potássio	1,0
Zinco	0,01

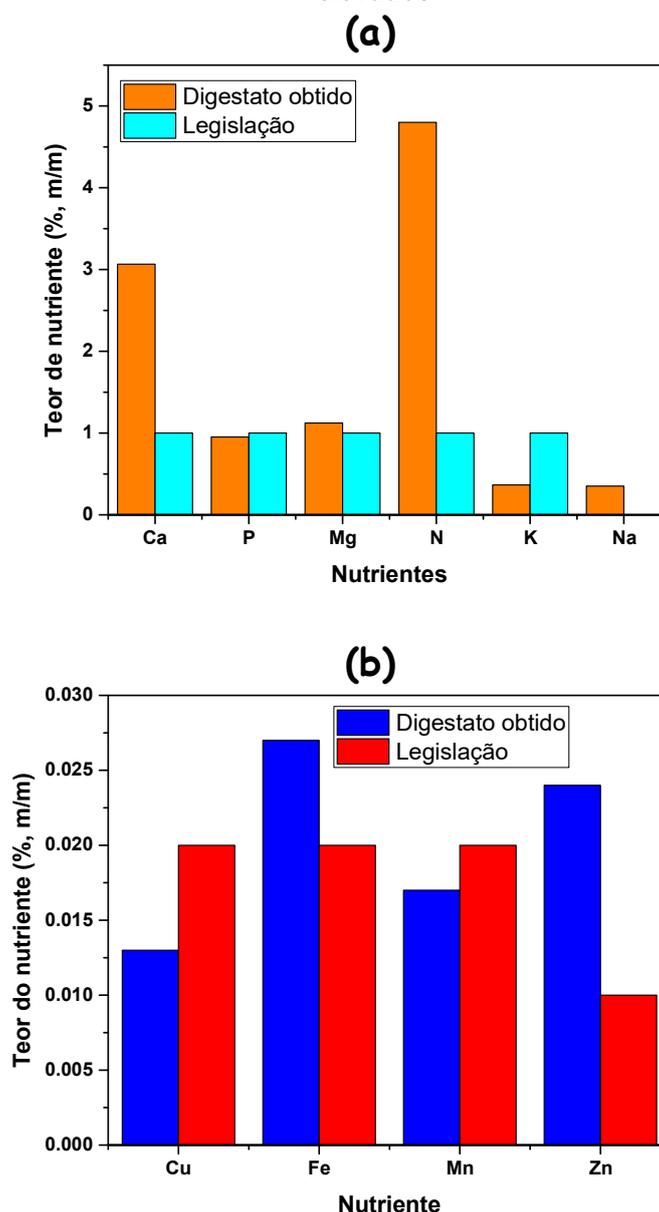
**Fonte: Instrução Normativa nº 61, de 8 de julho de 2020 (2021)**

Ainda de acordo com essa Instrução Normativa, para o efeito da aplicabilidade da Tabela 8, há algumas regras que regem a somatória, sendo que, para os compostos de macronutrientes primários, podendo ser a somatória NPK, NP, NK ou PK, espera-se o mínimo de 5% e, nessa composição podem ser adicionados os macronutrientes secundários e/ou os micronutrientes. O analito sódio e o pH que se encontra na análise da Tabela 5, não constam como parâmetros na legislação considerada.

Diante dos resultados apresentados na Tabela 5 e dos teores mínimos informados na Tabela 6, foi possível verificar se o digestato analisado apresentaria

potencial para ser aplicado como biofertilizante. A Figura 13 apresenta os resultados dessa análise.

**Figura 13 – Teores de nutrientes para o digestato obtido e valores mínimos baseados na legislação. (a) Nutrientes com teores mais elevados e (b) nutrientes com teores menos elevados**



Fonte: Autoria própria (2022)

Percebe-se na Figura 13 que alguns analitos não atendem ao teor mínimo estabelecido pela legislação, sendo eles, o cobre, o fósforo, o manganês e o potássio. Já o cálcio, o ferro, o magnésio, o nitrogênio e o zinco atingem o teor mínimo

estabelecido. O pH e o sódio não têm teores mínimos estabelecidos pela legislação. O NPK atinge a somatória mínima de 5% conforme expresso na Instrução Normativa. Para a correta aplicação do biofertilizante analisado os teores que não atingiram o mínimo estabelecido devem ser balanceados antes da utilização do produto.

Conforme Lima Neto et al. (2018), para a aplicação do biofertilizante resultante da cama de aviário, deve-se sempre seguir os critérios agrônômicos para definir como e quanto deve ser aplicado no solo, podendo ser suficiente somente o biofertilizante ou necessário aplicação de outros fertilizantes minerais. Por isso, deve-se sempre ser analisado por um profissional competente para que não haja prejuízos ambientais, visto que é necessário analisar vários critérios antes da aplicação do biofertilizante para que não haja alguns efeitos, como por exemplo, esgotamento do solo e erosão.

## **6.2 Biogás produzido no biodigestor**

Durante o processo de biodigestão a quantidade de biogás produzido foi registrada por um medidor de gás usado em residências (Figura 10). O volume de biogás foi mensurado em litros por meio da leitura registrada pelo medidor de gás que foi instalado entre o biodigestor e a câmara de armazenamento do biogás conforme também apresentado anteriormente na Figura 10.

A quantidade de biogás produzido foi mensurada a partir da medição considerada inicial, conforme a Figura 14, e a medição final, considerada a baixa de produção observada ao longo do processo. Assim, o ponto final da medida volumétrica foi considerado após 60 dias de biodigestão. Na Figura 14 pode-se verificar o volume de biogás produzido no medidor de gás utilizado no período observado.

**Figura 14 – Volume total de biogás produzido durante o processo de biodigestão monitorado ao longo de 60 dias**



Fonte: Autoria própria (2021)

Nota-se que a medição inicial da produção de biogás é de 175,6 litros, isso se deve aos experimentos e testes que foram realizados anteriormente com o biodigestor. Como a leitura final foi de 339,8 litros, concluiu-se que o volume de biogás produzido no experimento foi igual a 164,2 litros ao longo de 60 dias.

Durante o período do experimento, alguns parâmetros experimentais foram monitorados, sendo eles, a produção de biogás em litros por dia, a condição meteorológica e as temperaturas mínima e máxima interna e externa do biodigestor. A Tabela A1 com dos dados brutos é apresentada na sessão Apêndice A.

As medições da produção de biogás ao longo do experimento foram expressas em metros cúbicos (m<sup>3</sup>), sendo necessário corrigir as leituras para expressá-las em normal metro cúbico (Nm<sup>3</sup>), uma vez que a quantidade de moléculas em um dado volume de gás é função temperatura e da pressão. A conversão dos valores coletados para valores normalizados foi realizada utilizando a Equação 1. As informações atmosféricas, tais como pressão atmosférica e a umidade relativa do ar, foram gentilmente fornecidos pelo Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná – Simepar. A Tabela B2 na sessão Apêndice B apresenta os dados

referente a esses dois parâmetros no período do experimento. Devido a fatores restritivos ocasionados pela pandemia, o biogás produzido não foi caracterizado quimicamente, portanto, não é apresentada sua composição.

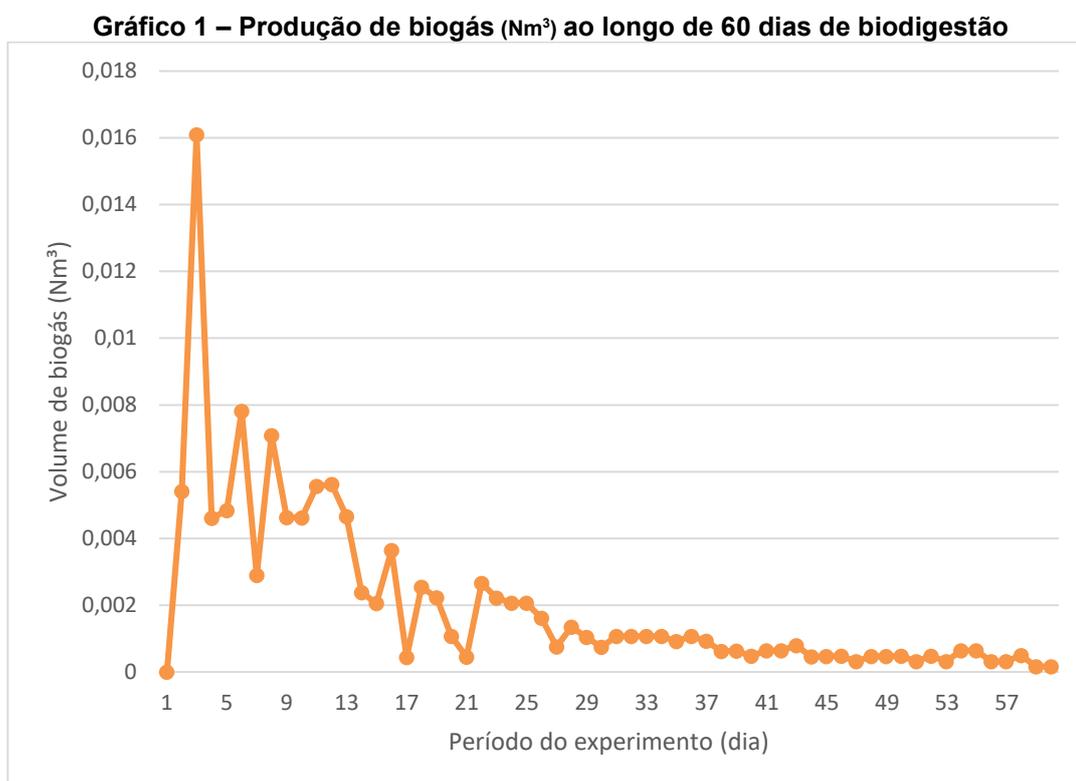
Durante o experimento de biodigestão foram realizados testes de queima para verificar se o gás formado era inflamável, que é uma característica fundamental para o biogás. Para tal fim, a válvula de ligação (Figura 9), posicionada após o medidor de gás, foi aberta para liberar o biogás, o qual entrou em contato com uma chama de maneira controlada e cautelosa. Em todos os testes realizados houve combustão do biogás, com chama azul claro de difícil visualização, que é o padrão a ser encontrado para esse tipo de combustão (KETUT et. al., 2018). O odor do biogás produzido também remeteu ao biogás proveniente da biodigestão anaeróbica de cama de aviário, ou seja, odor típico de sulfeto de hidrogênio e amônia.

Para apresentar um resultado satisfatório, o biodigestor utilizado no experimento necessitava ser agitado uma vez por semana através de balanço manual para manter o composto de cama de aviário com água em maior contato com as bactérias presentes para garantir a produção esperada. Ressalta-se que nesta pesquisa não foram utilizados inóculos, tendo a biodigestão ocorrido somente com a carga microbológica presente na mistura de cama de aviário e água. Quando ocorre a adição de inóculo na mistura, os resultados tendem a serem diferentes, visto que o inóculo acelera o processo de biodigestão e influencia na produção do biogás. A cama de aviário utilizada foi proveniente de retirada de seis lotes de criação de frangos de corte, o que equivale a um ano de utilização ininterrupta, sendo rica em matéria orgânica, e compostos nitrogenados devido ao acúmulo de diversas substâncias excretadas no período. Assim, optou-se pela não inoculação para que o potencial de

produção de biogás partindo somente da mistura cama de aviário e água fosse avaliado.

Anupoju et al. (2015), destaca que o potencial de produção de biogás a partir de cama de aviário é grande. Visto que o processo de digestão anaeróbica com esse material gera metano com um teor médio de 40 a 60%, que pode ser utilizado como energia no local. Como os sistemas digestores são essencialmente tanques de retenção, há vários modelos que podem ser utilizados de acordo com a necessidade e infraestrutura disponível, não havendo um único modelo ideal. Muitas variantes de processos foram desenvolvidas por países como, EUA, Alemanha, Japão, França, Espanha, Bélgica e Holanda considerando os digestores convencionais.

Diante dos dados coletados no experimento deste trabalho, e com os dados fornecidos pelo Simepar, são apresentados os resultados em termos de evolução de produção de biogás ao longo do período monitorado (Gráfico 1).



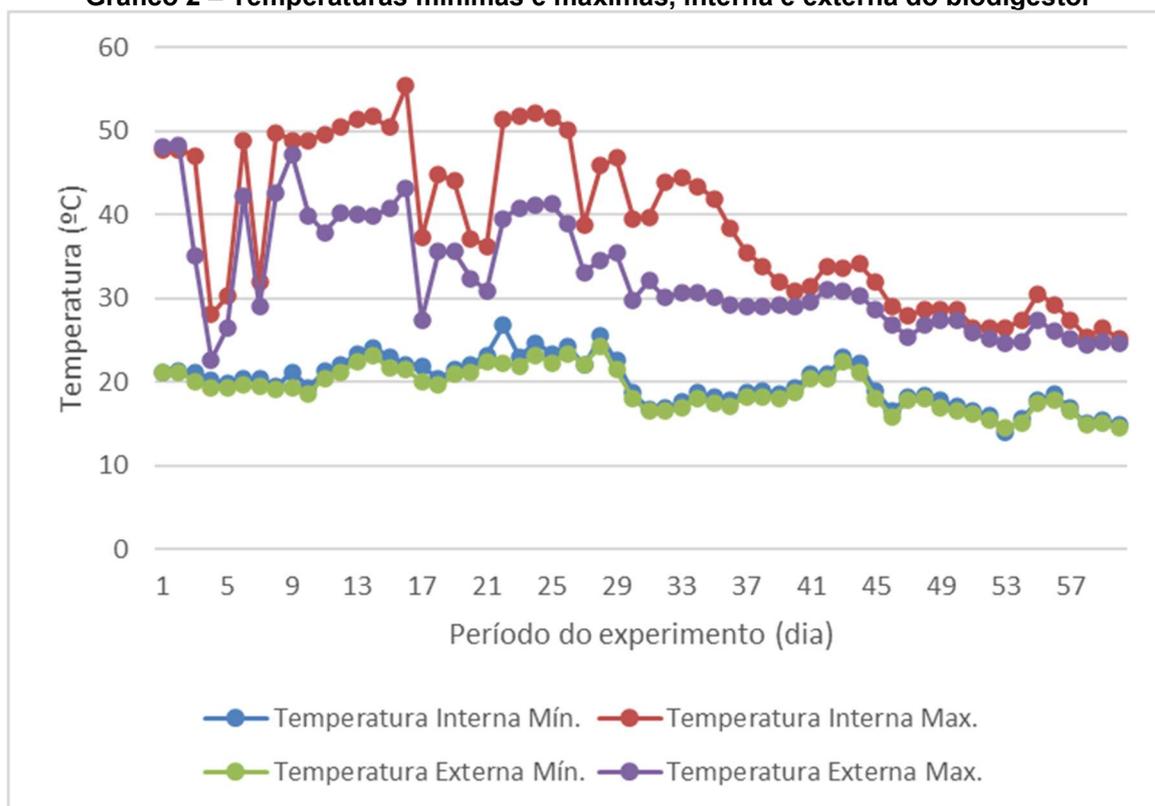
Fonte: Autoria própria (2021)

Observa-se que o pico de produção de biogás ocorreu no dia 3 do experimento, sendo que a produção convertida de litros para  $\text{Nm}^3$  nesse dia foi de  $0,0161 \text{ Nm}^3$  biogás/dia. A partir do dia 30 o volume de biogás produzido praticamente estabilizou em torno de  $0,0015 \text{ Nm}^3$  biogás/dia e, aos 59 dias a produção diária se aproximou de zero, sendo considerado o dia final do experimento.

A produção total ao final dos 60 dias foi de  $0,121 \text{ Nm}^3$  de biogás, sendo que cerca de 15% desse volume foi produzido nas primeiras 24 horas de experimento. Considerando a massa de biomassa utilizada no experimento e a produção total de biogás, calculou-se 19,9 litros de biogás por quilograma de biomassa utilizada (aproximadamente  $0,020 \text{ Nm}^3$  biogás/kg cama de aviário).

Conforme Santos Filho et al. (2020), a produção de biogás depende de vários fatores para se ter um resultado específico, tal como a dieta do animal, por exemplo, que está ligada diretamente ao resultado do biogás produzido. Importante ressaltar que a alimentação pode ser balanceada de várias formas para os animais e, por isso, pode conter enxofre, metais pesados e outros produtos químicos na composição do esterco gerados pelo animal.

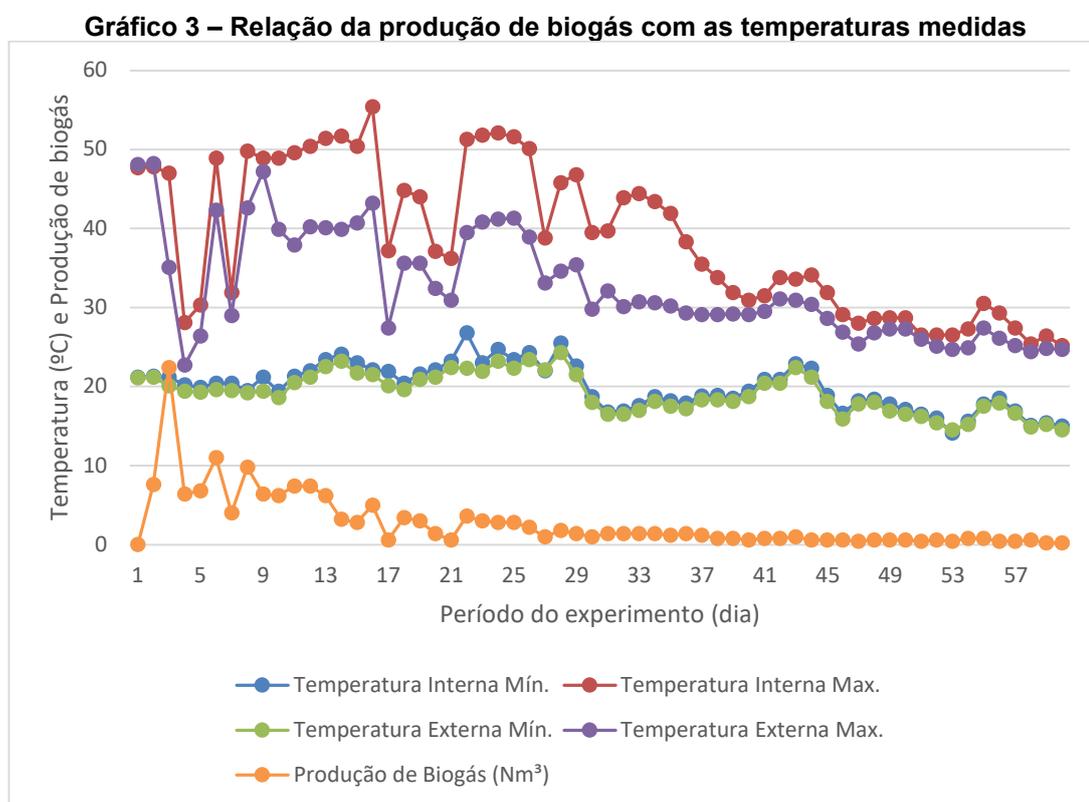
No Gráfico 2 pode ser observada a flutuação das temperaturas interna e externa do biodigestor durante o período de digestão anaeróbica da cama de aviário.

**Gráfico 2 – Temperaturas mínimas e máximas, interna e externa do biodigestor**

Fonte: Autoria própria (2021)

Pode-se observar que as temperaturas interna e externa apresentaram variações ao longo do período do experimento, principalmente no caso das máximas atingidas. As temperaturas mínimas interna e externa mostraram-se muito semelhantes. De qualquer forma, é possível notar que os microorganismos foram submetidos a variações de temperatura diariamente, alcançando uma amplitude de praticamente 30 °C. Ressalta-se que o termômetro foi instalado junto ao biodigestor, ficando acondicionado nas mesmas condições do restante do equipamento. Isso explica o fato das temperaturas máximas terem sido bastante elevadas, pois o equipamento ficou em campo aberto, exposto às condições meteorológicas do período do experimento. Nota-se também que em quase todos os dias a temperatura máxima interna foi superior a temperatura máxima externa, evidenciando atividade microbiana, fato que pode ser observado até, aproximadamente, o dia 40.

O Gráfico 3 apresenta a relação das temperaturas monitoradas com a produção de biogás.



Fonte: Autoria própria (2021)

Observa-se que o pico de produção do biogás não tem relação direta com a temperatura, sendo possível notar que no dia 3 do experimento, dia cujo volume de biogás atingiu o pico de produção, as máximas interna e externa não atingiram os maiores valores de todo o período monitorado.

Costa, Sagula e Lucas Junior (2012), no estudo onde utilizaram cama de aviário de terceiro lote composta por casca de amendoim, com e sem tratamentos adicionais, durante o período de 120 dias, obtiveram volume de biogás total de 0,1305 m<sup>3</sup>/kg de biomassa nesse período, considerando o experimento realizado somente com a cama de aviário e água.

Já no trabalho de Tessaro et al. (2015), foi avaliada a produção de biogás oriundo da biodigestão da cama de aviário com água, chegando ao resultado de que no período de 56 dias foi gerado o volume de biogás de 0,643 m<sup>3</sup>/kg de biomassa.

Em outro estudo realizado por Sagula, Costa e Lucas Junior (2017), foi realizado o experimento de produção de biogás a partir de cama de aviário com reciclo e sem reciclo. O experimento sem reciclo apresentou somente a cama de aviário com água no processo de biodigestão; os valores apresentados para produção de biogás sem reciclo foi, em média diária, de 0,0219 m<sup>3</sup>/kg de biomassa. No total desse experimento, foram 189 dias, resultando no volume de biogás total de 4,1391 m<sup>3</sup>/kg de biomassa.

Diante dessas informações, é possível realizar um comparativo da produção de biogás a partir de cama de aviário com água, para isso será utilizado a média de produção de 30 dias conforme demonstrado na Tabela 7.

<b>Tabela 7 – Comparação da produção de biogás realizada com média de 30 dias</b>				
<b>Resultados (m<sup>3</sup>/kg de biomassa)</b>				
<b>Parâmetro</b>	<b>Neste trabalho (2021)</b>	<b>Costa, Sagula e Lucas Junior (2012)</b>	<b>Tessaro et al. (2015)</b>	<b>Sagula, Costa e Lucas Junior (2017)</b>
Biogás produzido	0,082	0,032	0,344	0,657

**Fonte: Autoria própria (2021)**

Conforme observado na Tabela 7, houve grande variação na produção de biogás, mesmo que todos os experimentos foram realizados com cama de aviário e água, há fatores que influenciam nos resultados, como a composição da cama de

aviário, quantos lotes já haviam passado pelo material antes da coleta, bem como a proporção da cama de aviário e água utilizada. De acordo com Santos Filho et al. (2020), a produção do biogás normalmente apresenta picos nos primeiros dias de biodigestão devido à hidrólise dos compostos mais facilmente biodegradados.

Importante ressaltar que, para realizar a comparação de curvas de produção de biogás não é uma tarefa fácil, pois, na literatura o material disponível do assunto é bem variável pela composição da matéria prima utilizada para a produção, dificultando assim a análise dos resultados, também tem a questão das condições específicas de cada experimento, que mudam dependendo do local do experimento, do material utilizado para a biodigestão e das condições climáticas do local. Embora em se tratando do mesmo material analisado em outras literaturas, o fator das condições específicas de cada experimento vão resultar em valores diferentes, por isso é difícil a comparação exata entre os experimentos.

Conforme Tessaro et al. (2015), vários fatores influenciam todo o processo, o da qualidade e quantidade de biogás e do biofertilizante resultante, as características da cama de aviário variam de acordo com material utilizado, a alimentação das aves, a quantidade de aves, o manejo, a duração do ciclo por lote, a quantidade de lotes antes da retirada da cama de aviário, o tempo de armazenagem, fatores ambientais e fisiológicos. Tudo isso influi nas concentrações dos micronutrientes e dos macronutrientes encontradas na cama de aviário, que por sua vez, influencia diretamente em todo o processo de biodigestão, definindo diferentes parâmetros de qualidade de biogás e de biofertilizante.

Dornelas et al. (2021) expressa que é de suma importância ressaltar a importância do inóculo, já que o mesmo influencia a velocidade, quantidade e qualidade do biogás produzido, por isso, há diversos tipos de biogás com o teor de

metano variável pela utilização do inóculo. Diante disso, é crucial que se tenha o conhecimento se está sendo utilizado inoculante e a composição microbiana, visto que esses têm papéis fundamentais no processo de biodigestão e no resultado final.

Além disso, ressalta-se que o uso de biogás produzido por digestão anaeróbica somente é aconselhável se o mesmo foi submetido a um processo de refino para a remoção de contaminantes prejudiciais às tubulações e ao meio ambiente.

### **6.3 Análise financeira do potencial da produção de biogás**

A partir dos resultados obtidos nesse experimento de produção de biogás e biofertilizante a partir da cama de aviário de frangos de corte por meio de biodigestão anaeróbica foi possível realizar o dimensionamento estimado da produção de biogás utilizando os dados cedidos pela administração do condomínio avícola que também forneceu o resíduo e as informações pertinentes para a realização desse experimento.

Para realizar a estimativa de produção, foi necessário considerar as seguintes informações:

- Geração de biomassa residual por aviário;
- Produção de biogás obtida através do experimento;
- Equivalência energética do biogás em relação a eletricidade;
- Média do consumo de eletricidade fornecida pela concessionária utilizada no aviário;
- Média do valor do kWh de eletricidade fornecida pela concessionária utilizada no aviário.

Para a realização do cálculo, foi necessário a conversão da produção de biogás de Nm<sup>3</sup> para m<sup>3</sup> devido a referência apresentada na Figura 8 apresentar a equivalência energética do biogás em m<sup>3</sup>.

Considerando que a troca de cama de aviário é realizada anualmente, com a retirada de, em média, 220 toneladas de material por aviário, foi feita a conversão referente à quantidade utilizada no experimento. Também considerando a conversão da equivalência energética do biogás em m<sup>3</sup> para kWh e os dados fornecidos pela administração do condomínio avícola referente ao consumo energético distribuído pela concessionária, foi possível realizar os cálculos conforme demonstrados na Tabela 8.

**Tabela 8 – Estudo financeiro do potencial de produção de biogás por aviário**

<b>Parâmetro</b>	<b>Valores</b>
Equivalência do kWh por 1 m <sup>3</sup> de biogás	1,43
Biogás produzido no experimento (m <sup>3</sup> )	0,124
Biomassa utilizada no experimento (kg)	6,102
Biomassa retirada anual do aviário (kg)	220.000
Potencial anual de produção de biogás (m <sup>3</sup> ) <sup>a</sup>	4.470,67
Equivalência kWh por m <sup>3</sup> de biogás produzido (kWh)	6.393,05
Valor médio do kWh (R\$)	1,037
Potencial anual de produção de biogás (R\$)	6.629,59

<sup>a</sup> Com base no procedimento experimental apresentado neste estudo.

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Ao analisar os valores apresentados na Tabela 8, é possível perceber que o potencial de produção de biogás conforme dados obtidos no experimento realizado é de 4.470,67 m<sup>3</sup> de biogás quando utilizada toda a biomassa que é retirada anualmente

do aviário. Ao converter esse potencial de produção em valores monetários utilizando o valor médio do kWh referente ao mês de junho do ano de 2022, encontrou-se o valor de R\$ 6.629,59.

E, com esses valores, foi possível realizar a comparação com o consumo de energia elétrica utilizado fornecido pela concessionária, conforme demonstrado na Tabela 9.

<b>Tabela 9 – Consumo médio de energia elétrica por aviário</b>	
<b>Parâmetro</b>	<b>Valores</b>
Consumo médio diário (kWh)	160,11
Valor médio mensal (R\$)	1.993,40
Valor médio anual (R\$)	23.920,86
Potencial anual de produção de biogás (R\$)	6.629,59

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Ao analisar a Tabela 9, nota-se que o valor monetário que pode ser alcançado com essa projeção de produção de biogás é de, aproximadamente, 28% do valor médio anual gasto com energia elétrica no aviário estudado, um percentual significativo de economia com energia, o que deve impactar positivamente na lucratividade do negócio. Esse impacto pode ser ainda mais visível se forem considerados condomínios avícolas, onde o consumo de energia é superior, tornando a instalação do biodigestor mais atrativa.

Outro fator a ser considerado é que o experimento foi realizado com a biomassa cama de aviário com adição de somente água. Quando adicionado algum inóculo à mistura, o potencial da biodigestão pode ser aumentado, o que levaria à uma produção de biogás maior que a encontrada neste experimento.

Apesar das boas perspectivas, para um estudo financeiro completo são necessários vários passos, incluindo o dimensionamento da instalação do biodigestor para se chegar ao tempo necessário para o retorno do investimento.

É primordial que haja a gestão do projeto bem planejada, sendo necessário primeiramente planejar com segurança o gerenciamento dos custos, estimando todos os valores para assim determinar os orçamentos. O monitoramento e controle desse orçamento deve ser administrado com cautela e responsabilidade para minimizar as chances de falhas no gerenciamento dos custos (PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, 2017).

## 7 CONCLUSÕES

Após analisar os dados obtidos através do experimento e em comparação com a literatura disponível, conclui-se que a produção do biogás foi de acordo com esperado.

Referente as análises da cama de aviário, foi constatado que a mudança nos valores dos analitos analisados na cama de aviário coletada e na cama de aviário biodigerida foi pequeno e, que embora quase todos os analitos estejam atendendo aos teores mínimos exigidos, ainda sim seria necessário o balanceamento dos analitos que estão fora dos teores mínimos exigidos.

Sobre a aplicabilidade do biofertilizante, como há vários fatores que influenciam na produção do biofertilizante e na necessidade da área onde será aplicado, isso demanda de uma análise específica que deve ser realizada por profissional da área para determinar se precisará ou não ajustar os níveis dos analitos do biofertilizante ou utilizar alguma outra complementação.

Destaca-se que para mais comparações dos valores obtidos nesse experimento com a literatura disponível torna-se difícil, visto que não é possível encontrar literaturas com o mesmo material utilizado, pois há muitas variáveis a serem consideradas, como, condições meteorológicas que o material ficou exposto, alimentação do animal e material que constitui a cama de aviário, o que acaba tornando cada literatura única em suas informações.

Referente a análise financeira, a produção do biogás obtida, quando analisada em percentual, mostra que essa alternativa de aproveitamento da cama de aviário é positiva, proporcionando benefícios financeiros para o empreendimento. Por ser um processo de reaproveitamento de um resíduo na própria propriedade, também se

destaca que é gerado o biofertilizante resultante do processo, que pode ser utilizado na propriedade ou comercializado, gerando também benefícios financeiros para o empreendimento.

De maneira geral o experimento e a pesquisa ocorreram conforme esperado, chegando a resultados satisfatórios de acordo com a literatura pesquisada.

## 8 REFERÊNCIAS

- AL MAMUN, M. R.; TORII, S. Enhancement of Methane Concentration by Removing Contaminants from Biogas Mixtures Using Combined Method of Absorption and Adsorption. **International Journal of Chemical Engineering**, v. 2017, 9 p. 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7906859>.
- ANUPOJU, G. R.; Ahuja, S.; Gandu, B.; Sandhya, K.; Kuruti, K.; Yerramsetti, V. S. Biogas from Poultry Litter: A Review on Recent Technological Advancements. *In*: Pogaku Ravindra. **Advances in Bioprocess Technology**, cap. 8, p. 133-147, 2015. DOI: 10.1007/978-3-319-17915-5\_8.
- ANDRADE, C. A.; BIBAR, M. P. S.; COSCIONE, A. R.; PIRES, A. M. M.; SOARES, A. G. Mineralização e efeitos de biocarvão de cama de frango sobre a capacidade de troca catiônica do solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 50, n. 5, p. 407-416, mai. 2015. DOI: 10.1590/S0100-204X2015000500008.
- ARAÚJO, G. C.; BUENO, M. P.; SOUSA, A. A.; MENDONÇA, P. S. M. Sustentabilidade empresarial: Conceito e indicadores. *In*: III CONVIBRA – CONGRESSO VIRTUAL BRASILEIRO DE ADMINISTRAÇÃO. **Resumos** [...]. 2006. 20 p. Disponível em: <https://silo.tips/download/iii-convibra-24-a-26-de-novembro-de-2006-2>. Acessado em: junho de 2019.
- AVILA, V. S.; COSTA, C. A. F.; FIGUEIREDO, E. A. P.; ROSA, P. S.; OLIVEIRA, U.; ABREU, V. M. N. Materiais Alternativos, em Substituição à Maravalha como Cama de Frangos. **Comunicado Técnico 465**, Versão Eletrônica. Concórdia: Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Suínos e Aves. dez. 2007. 5 p. Disponível em: [chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/materiais\\_alternativos\\_substituicao\\_maravalha\\_cama\\_frangos\\_000fyr8ivog02wx5ok0pvo4k3hp0fgdu.pdf](chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/materiais_alternativos_substituicao_maravalha_cama_frangos_000fyr8ivog02wx5ok0pvo4k3hp0fgdu.pdf). Acessado em: dezembro de 2021.
- BANERJEE, S.; PRASAD, N.; SELVARAJU, S. Reactor Design for Biogas Production-A Short Review. **Journal of Energy and Power Technology**, v. 4, n. 1, 14 p. jan. 2022. DOI: 10.21926/jept.2201004.
- BARBERA, E.; BANZATO, D.; BERTUCCO, A.; MENEGON, S.; D'ALPAOS, C. From biogas to biomethane: A process simulation-based techno-economic comparison of different upgrading technologies in the Italian context. **Renewable Energy**, v. 135, p. 663-673, 2019. DOI: 10.1016/j.renene.2018.12.052.
- BARRERA, P. **Biodigestores**: Energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. 3. ed. São Paulo: Ícone. 2017. 108 p.
- BATAGLIA, O. G. **Métodos de análises químicas de plantas**. 1. ed. Campinas: Instituto Agrônômico, 1983. 48 p.

BRASIL. Governo do Brasil Notícias. **Fontes de energia renováveis representam 83% da matriz elétrica brasileira.** Brasília: gov.br, 2020. 4 p. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2020/01/fontes-de-energia-renovaveis-representam-83-da-matriz-eletrica-brasileira>. Acessado em: outubro de 2020.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) - Suínos e Aves. **Estatísticas Mundo: Frangos de Corte.** Concórdia: EMBRAPA, 2022. 1 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/mundo>. Acessado em: abril de 2022.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) - Suínos e Aves. **Estatísticas Brasil: Frangos de Corte.** Concórdia: EMBRAPA, 2022. 1 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/frangos/brasil>. Acessado em: abril de 2022.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo (ANP). Resolução nº 685 de 29 junho de 2017. Estabelece as regras para aprovação do controle da qualidade e a especificação do biometano oriundo de aterros sanitários e de estações de tratamento de esgoto destinado ao uso veicular e às instalações residenciais, industriais e comerciais a ser comercializado em todo o território nacional. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, p. 69, 30 jun. 2017.

BRASIL. Agência Nacional do Petróleo (ANP). Resolução nº 8 de 30 de janeiro de 2015. Estabelece a especificação do Biometano contida no Regulamento Técnico ANP nº 1/2015, parte integrante desta Resolução. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, p. 100, 02 fev. 2015.

Brasil. Conselho Nacional de Política Energética (CNPE). Resolução nº 15, de 24 de junho de 2019. Define as metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, p. 9, 9 jul. 2019.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Indicadores IBGE – Estatística da Produção Pecuária:** out. dez. 2021. Rio de Janeiro: IBGE, 2022. 94 p. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=72380>. Acessado em: abril 2022.

Brasil. Lei nº 13.576 de 26 de dezembro de 2017. Dispõe sobre a Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio) e dá outras providências. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, p. 4, 27 dez. 2017.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA)/Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 61 de 08 de julho de 2020. Estabelece as regras sobre definições, exigências, especificações, garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos fertilizantes orgânicos e dos biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial da União:** seção 1, Brasília, DF, p. 5, 15 jul. 2020.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 08 de 26 de março de 2004. Dispõe sobre a proibição em todo o território nacional a produção, a comercialização e a utilização de produtos destinados à alimentação de ruminantes que contenham em sua composição proteínas e gorduras de origem animal. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 5, 26 mar. 2004.

Brasil. Ministério de Minas e Energia (MME). Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). **RenovaBio**. Publicado em 13/07/2020. Atualizado em 24/03/2022. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>. Acessado em: 15 julho 2022.

Brasil. Ministério de Minas e Energia (MME). Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Resolução nº 791/2019, de 12 de junho de 2019. Dispõe sobre a individualização das metas compulsórias anuais de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa para a comercialização de combustíveis, no âmbito da Política Nacional de Biocombustíveis (RenovaBio). **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, p. 44, 14 jun. 2019.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia (MME). Empresa de Pesquisa Energética (EPE). Série Estudos da Demanda de Energia, Demanda de Energia 2050. **Nota Técnica DEA 13/15**. Rio de Janeiro: EPE, 2016. 257 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-227/topico-458/DEA%2013-15%20Demanda%20de%20Energia%202050.pdf>. Acesso em 25 mar. 2020.

Brasil. Ministério de Minas e Energia (MME). Secretaria do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **RenovaBio**. 2022. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/renovabio>. Acessado em: 15 julho 2022.

CARNEIRO, S. L.; ULBRICH, A. C.; FALKOWSKI, T.; CARVALHO, C.; SOARES JR., S.; LLANILLO, R. F. F. **Frango de corte**: integração produtor/indústria. Curitiba: Programa Paraná 12 meses, Ago. 2004. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.bibliotecaagptea.org.br/zootecnia/avicultura/artigos/FRANGO%20DE%20CORTE%20INTEGRACAO%20PRODUTOR%20INDUSTRIA.pdf>. Acessado em: 05 mar. 2022.

CHAKRABORTY, D.; PRASADAB, R.; BHATTAA, A.; TORBERTC, H. A. Understanding the environmental impact of phosphorus in acidic soils receiving repeated poultry litter applications. **Science of The Total Environment**, v. 779, July 2021. Disponível em: DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.146267.

CHEN, C. GUO, W.; NGO, H. H.; LEE, D-J.; TUNG, K-L.; JIN, P.; WANG, J.; WU, Y. Challenges in biogas production from anaerobic membrane bioreactors. **Renewable Energy**, v. 98, p. 120-134, dec. 2016. DOI: 10.1016/j.renene.2016.03.095.

COLMENAR-SANTOS, A.; ZARZUELO-PUCH, G.; BORGE-DIEZ, D.; GARCÍA-DIÉGUEZ, C. Thermodynamic and exergoeconomic analysis of energy recovery

system of biogas from a wastewater treatment plant and use in a Stirling engine. **Renewable Energy**, v. 88, p. 171–184, apr. 2016. DOI: 10.1016/j.renene.2015.11.001.

CMMAD – COMISSÃO MUNDIAL DE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. 2. ed. Rio de Janeiro: Fundação Getúlio Vargas, 1991. 28 p. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fedisiplinas.usp.br%2Fpluginfile.php%2F4245128%2Fmod\_resource%2Fcontent%2F3%2FNosso%2520Futuro%2520Comum.pdf&chunk=true&pdffilename=Nosso%20Futuro%20Comum.pdf. Acesso em 30 mar. 2022.

CORRÊA, J. C.; MIELE, M. A cama de aves e os aspectos agronômicos, ambientais e econômicos. *In*: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. **Manejo ambiental na avicultura**. Concórdia: Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Suínos e Aves, 2011. *E-book*. 226 p. ISSN 0101- 6245, Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57055/1/manejo-ambiental-na-avicultura.pdf>. Acessado em: junho de 2019.

COSTA, L. V. C.; SAGULA, A. L.; LUCAS JÚNIOR, J. Uso de remediadores biológicos na biodigestão anaeróbia da cama de frango de corte. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 6, n. 2, p. 71-78, mai/ago. 2012. DOI: 10.18011/bioeng2012v6n2p71-78.

DENG, L. LIU, Y.; ZHENG, D.; WANG, L.; PU, X.; SONG, L.; WANG, Z.; LEI, Y.; CHEN, Z.; LONG, Y. Application and development of biogas technology for the treatment of waste in China. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 70, p. 845-851, apr. 2017.

DENG, L.; LIU, Y.; WANG, W. **Biogas Technology**. Singapore: Springer Nature, 2020, *E-book*, p. 201-243. DOI: 10.1007/978-981-15-4940-3\_6.

DETMAN, A.; BUCHA, M.; TREU, L.; CHOINACKA, A.; PLEŚNIAK, L.; SALAMON, A.; ŁUPIKASZA, E.; GROMADKA, R.; GAWOR, J.; GROMADKA, A.; DRZEWICKI, W.; JAKUBIAK, C.; JANIGA, M.; MATYASIK, I.; BŁASZCZYK, M. K.; JĘDRYSEK, M. O.; CAMPANARO, S.; SIKORA, A. Evaluation of acidogenesis products' effect on biogas production performed with metagenomics and isotopic approaches. **Biotechnology for Biofuels**, n. 14, art. 125, 25 p. May. 2021. DOI: 10.1186/s13068-021-01968-0.

DIEL, P. B.; CASARIN, V. A.; STRACKE, M. P.; SILVA, D. J. C.; SANTOS, A. V. Economic management model of electricity generated from biomass in a pig farm. **Engenharia Agrícola**, v.40, n.2, p.132-138, mar./apr. 2020. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n2p132-138/2020.

DORNELAS, K. C.; SCHNEIDER, R. M.; AMARAL, A. G.; TON, A. P. S.; MASCARENHAS, N. M. H.. Biodigestion as a tool for poultry sustainability - a review. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 12, p. e38101220042, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i12.20042.

DUARTE, S. C.; MIRAGLIOTTA, M. Y.; VIOLA, T. H.; CÔRTEZ, V. A. C.; ÁVILA, V. S.; BRITO, D. M.; PEREIRA, V. L. A.; VILLA, M. F. G.; WALTER, E. H. M.

**Recomendações básicas de biossegurança para pequena escala de produção avícola.** 1.ed. 12 p. Concórdia: Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Suínos e Aves, 2020. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbnmnnibpcajpcgclclefindmkaj/https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/211892/1/Folheto-Biosseguridade.pdf>. Acessado em: 11 mai 2022.

EBA – European Biogas Association. **Annual report 2019.** Brussels: EBA, 2019. 14 p. Disponível em: <https://www.europeanbiogas.eu/eba-annual-report-2019/>. Acessado em: junho de 2020.

FANTINATTI, P. A. P.; ZUFFO, A. C.; FERRÃO, A. M. A. **Indicadores de sustentabilidade em engenharia: como desenvolver.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015. 333 p.

FERNANDES, J. A. C. S. **Fornecimento de dados meteorológicos para fins acadêmicos.** Destinatário: Sistema de Tecnologia e Monitoramento Ambiental do Paraná – Simepar. Curitiba, 05 out. 2021. 1 mensagem eletrônica.

FERREIRA, L. R. A.; OTTO, R. B.; SILVA, F. P.; SOUZA, S. N. M.; SOUZA, S. S.; ANDO JUNIOR, O. H. Review of the energy potential of the residual biomass for the distributed generation in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 94, p. 440-455, oct. 2018. DOI: 10.1016/j.rser.2018.06.034.

FURTADO, R. **Agrobusiness Brasileiro: A história.** 1. ed. São Paulo: Abag, 2002. 235 p.

GARCIA, R. G.; Almeida Paz, I. C. L.; Caldara, F.R.; Nääs, I. A.; Pereira, D.F.; Ferreira, V. M. O. S. Selecting the Most Adequate Bedding Material for Broiler Production in Brazil. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 14, n. 2, p. 121-127, dec. 2012. DOI: 10.1590/S1516-635X2012000200006.

GAZDA, W.; STANEK, W. Energy and environmental assessment of integrated biogas trigeneration and photovoltaic plant as more sustainable industrial system. **Applied Energy**, v. 169, p. 138-149, may. 2016. DOI: 10.1016/j.apenergy.2016.02.037.

GENOVESE, A. L.; UDAETA, M. E. M.; GALVÃO, L. C. R. Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo. *In*: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL 2006, Resumos [...]. 2006. 10 p. Disponível em: [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100021&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022006000100021&script=sci_arttext). Acessado em: junho de 2019.

GUIMARÃES, G.; LANA, R. P.; REI, R. S.; VELOSO, C. M.; SOUSA, M. R. M.; RODRIGUES, R. C.; CAMPOS, S. A. Produção de cana-de-açúcar adubada com cama de frango. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, n. 17, v. 4, p. 617-625, dez. 2016. DOI: 10.1590/S1519-99402016000400006.

HATA, A.; NUNOME, M.; SUWANASOPEE, T.; DUENGKAE, P.; CHAIWATANA, S.; CHAMCHUMROON, W.; SUZUKI, T.; KOONAWOOTRITTRIRON, S.; MATSUDA, Y.; SRIKULNATH, K. Origin and evolutionary history of domestic chickens inferred from a large population study of Thai red junglefowl and indigenous chickens. **Scientific Reports**, v. 11, 15 p. jan. 2021. DOI: 10.1038/s41598-021-81589-7.

HEERDT, M. L.; LEONEL, V. **Metodologia científica e da pesquisa**: livro didático. 5. ed. Palhoça: UnisulVirtual, 2007. 266 p.

HEROUT, M. MALAŤÁK, J.; KUČERA, L.; DLABAJA, T. Biogas composition depending on the type of plant biomass used. **Research in Agricultural Engineering**, v. 57, n. 4, p. 137–143. 2011. DOI: 10.17221/41/2010-RAE. Acesso em: 10 abr. 2022.

JANGAM, K.; CHEN, Y-Y.; QIN, L.; FAN, L-S. Perspectives on reactive separation and removal of hydrogen sulfide. **Chemical Engineering Science: X**, v. 11, p. 100105-100118, aug. 2021. DOI: 10.1016/j.cesx.2021.100105.

KARGBO, H.; HARRIS, J.; PHAN, A. N. “Drop-in” fuel production from biomass: Critical review on techno-economic feasibility and sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 135, 20 p. Jan. 2021. DOI: 10.1016/j.rser.2020.110168.

KAUARK, F.; MANHÃES, F. C.; MEDEIROS, C. H. **Metodologia da pesquisa**: Guia prático. 1. ed. Itabuna: Via Litterarum, 2010. 88 p.

KETUT, C. N.; AGUNG, S.; MEKRO, P.; HERI, H.; BACHTIAR. The flame characteristics of the biogas has produced through the digester method with various starters. **IOP Conf. Series: Mater. Sci. Eng.**, v. 299, 2018. DOI: 10.1088/1757-899X/299/1/012091.

LANTZ, M. The economic performance of combined heat and power from biogas produced from manure in Sweden – A comparison of different CHP technologies. **Applied Energy**, v. 98, p. 502-511, oct. 2012. DOI: 10.1016/j.apenergy.2012.04.015.

LIMA NETO, P. M.; SENA JUNIOR, D. G.; DIAS, D. S.; CRUZ, S. C. S.; RESENDE, H. O.; COSTA, M. M. Cama de aves associada a adubação nitrogenada no cultivo do milho. **Colloquium Agrariae**, v. 14, n.3, jul-set. 2018, p. 39-50. DOI: 10.5747/ca.2018.v14.n3.a226.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**: princípios e aplicações. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1991. 319 p.

MEEGODA, J. N.; LI, B.; PATEL, K.; WANG, L. B. A Review of the Processes, Parameters, and Optimization of Anaerobic Digestion. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, n. 15, 14 p., Oct. 2018. DOI: 10.3390/ijerph15102224.

ME-LE AKADEMIE. **O processo bioquímico**. Torgelow: ME-LE Akademie, 2020. 29 p.

PALHARES, J. C. P. Impacto ambiental da produção de frangos de corte – revisão do cenário brasileiro. *In*: PALHARES, J. C. P.; KUNZ, A. **Manejo ambiental na avicultura**. Concórdia: Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Suínos e Aves, 2011. *E-book*. 226 p. ISSN 0101- 6245, Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/57055/1/manejo-ambiental-na-avicultura.pdf>. Acessado em: junho de 2019.

PALHARES J. C. P. Uso da cama de frango na produção de biogás. **Circular Técnica 41**. 1ª ed. Concórdia: Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Suínos e Aves, dez. 2004. 12 p. Disponível em: [http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc\\_publicacoes/cit41.pdf](http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/cit41.pdf). Acessado em: junho 2019.

PARANÁ. Agência de Notícia do Paraná. **Governo apoia avicultura para gerar empregos e desenvolvimento**. Curitiba: ANP, 2020. 1 p. Disponível em: <http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=108610&tit=Governo-apoia-avicultura-para-gerar-empregos-e-desenvolvimento>. Acessado em: setembro de 2020.

PARANÁ. Agência de Notícias do Paraná. **Novo Decreto atualiza legislação do projeto Smart Energy Paraná**. Curitiba: ANP, 2018. Disponível em: <http://www.aen.pr.gov.br/modules/noticias/article.php?storyid=99494&tit=Novo-decreto-atualiza-legislacao-do-projeto-Smart-Energy-Parana>. Acesso em: 19 out. 2020.

PARANÁ. **Decreto nº 8842, de 04 de setembro de 2013**. Dispõe sobre a criação do Projeto Smart Energy Paraná e dá outras providências. Curitiba: Diário Oficial nº 9036, 2013. Disponível em: <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/listarAtosAno.do?action=exibir&codAto=101102&indice=5&totalRegistros=246&anoSpan=2020&anoSelecionado=2013&mesSelecionado=9&isPaginado=true>. Acesso em: 19 out. 2020.

PARANÁ. **Decreto nº 11538, de 05 de novembro de 2018**. Trata sobre a criação do Projeto Smart Energy Paraná e revoga o Decreto nº 8842, de 04 de setembro de 2013. Curitiba: Diário Oficial nº 10308, 2018. Disponível em: <https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=210011&codTipoAto&tipoVisualizacao=alterado>. Acesso em: 19 out. 2020.

PASSOS, A. M. A.; REZENDE, P. M.; CARVALHO, E. R. Cama de frango, esterco de curral e pó de carvão no estado nutricional da soja. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, p. 422-436, dez. 2014. Disponível em: <https://conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/2267>.

PENTEADO, M. C.; SCHIRMER, W. N.; DOURADO, D. C.; GUERI, M. V. D. Análise do potencial de geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbica da vinhaça e bagaço de cana. **BIOFIX Scientific Journal**, v. 3, n. 1, p. 26-33, 2018. DOI: [dx.doi.org/10.5380/biofix.v3i1.56013](https://doi.org/10.5380/biofix.v3i1.56013).

PETERSON, A. Biogas Cleaning. *In*: WELLINGER, A.; MURPHY, J.; BAXTER, D. (Ed.). **The Biogas Handbook: Science Production and Applications**. Woodhead Publishing. 2013. cap. 14. p. 329-341.

PIZZUTI, L.; MARTINS, C. A.; LACAVA, P. T. Laminar burning velocity and flammability limits in biogas: A literature review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 62, p. 856–865, sep. 2016. DOI: 10.1016/j.rser.2016.05.011.

PLUGGE, C. M. Biogás. **Microbial Biotechnology**, v. 10, p. 1128-1130, sep. 2017. DOI: doi.org/10.1111/1751-7915.12854.

PRADO, R. M. **Nutrição das plantas**. 2. ed. São Paulo: Editora Unesp, 2020.416 p.

QIAN, Y.; SUN, S.; JU, D.; SHAN, X.; LU, X. Review of the state-of-the-art of biogas combustion mechanisms and applications in internal combustion engines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 69, p. 50-58, mar. 2017. DOI: 10.1016/j.rser.2016.11.059.

RADZUAN, M.R.A.; SYARINA, N. A.; ROSDI, W. M. W.; HUSSIN, A. H.; ADNAN, M. F. Sustainable optimization of natural gas sweetening using a process simulation approach and sustainability evaluator. **Materials Today Proceedings**, v. 19, part 4, p. 1628-1637, 2019. DOI: 10.1016/j.matpr.2019.11.191.

RICHART, A.; GIBBERT, R. M.; MÜLLER, E. J. Perdas de nitrogênio por volatilização de amônia da cama de frango em função do manejo de aplicação em argissolo vermelho. **Synergismuss cyentifica UTFPR**, v. 9, p. 1-8, 2014.

RODRIGUES, M. V.; YADA, M. M. Diferenças entre criação de frango de corte convencional e o sistema dark house. **Revista Interface Tecnológica**, v. 15, n. 2, p. 360-369, dez. 2018. DOI: 10.31510/infa.v15i2.451.

SAGULA, A. L.; COSTA, L. V. C.; LUCAS JUNIOR, J. Diferentes diluições e uso de reciclo na biodigestão anaeróbia de cama de frango triturada e peneirada: ensaio batelada. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 11, n.4, p. 373-384, dez. 2017. DOI: 10.18011/bioeng2017v11n4p373-384.

SALEEM, M. Possibility of utilizing agriculture biomass as a renewable and sustainable future energy source. **Heliyon**, v. 8, n. 2, feb. 2022. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e08905.

SANTOS, A. R.; SILVA, R. C. F.; ASSIS, L. C.; MAUAD, F. F. Defining environmental conservation levels considering anthropic activity in the Uberaba River Basin protected área. **Revista Ambiente & Água**, v. 14, n. 1, 2019. DOI: 10.4136/ambi-agua.2279.

SANTOS, R. F. (org.). **Vulnerabilidade ambiental: Desastres naturais ou fenômenos induzidos?** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2007. 192 p. Disponível em: [https://fld.com.br/wp-content/uploads/2019/07/Vulnerabilidade\\_Ambiental\\_Desastres\\_Naturais\\_ou\\_Fenomenos\\_Induzidos.pdf](https://fld.com.br/wp-content/uploads/2019/07/Vulnerabilidade_Ambiental_Desastres_Naturais_ou_Fenomenos_Induzidos.pdf). Acessado em: junho de 2019.

SANTOS FILHO, D. A.; OLIVEIRA, L. R. G.; PENTEADO, M. C.; SCHIRMER, W. N.; SOBRINHO, M. A. M.; JUCÁ, J. F. T. Energy sustainability of supply centers from the codigestion of organic waste. **Detritus**. Volume 09, p. 76-82, mar. 2020. DOI: 10.31025/2611-4135/2020.13901.

SANTOS FILHO, J. I.; MIELE, M.; MATINS, F. M.; TALAMINI, D. J. D. Os 35 anos que mudaram a avicultura brasileira. *In*: SOUZA, J. C. P. V. B.; TALAMINI, D. J. D.; SCHEUERMANN, G. N.; SCHMIDT, G. S. (Ed.). **Sonho, desafio e tecnologia: 35 anos de contribuições da Embrapa Suínos e Aves**. Concórdia: Embrapa - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Suínos e Aves, 2011. cap. 2. p. 59-84. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/909722/sonho-desafio-e-tecnologia-35-anos-de-contribuicoes-da-embrapa-suinos-e-aves>. Acessado em: junho de 2020

SCARLAT, N.; DALLEMAND, J. F.; FAHL, F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. **Renewable Energy**, v. 129, part A, p. 457-472, dec. 2018. DOI: 10.1016/j.renene.2018.03.006.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos**. 1. ed. Viçosa: Editora UFV, 1981. 166 p.

IHS MARKIT. **NPK Compound Fertilizers**: Chemical Economics Handbook. 1 p. Disponível em: <https://ihsmarkit.com/products/npk-compound-fertilizers-chemical-economics-handbook.html#:~:text=NPK%20fertilizers%20typically%20contain%20at,to%20magnesium%20and%20then%20sulfur>. Acessado em: abril de 2022.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um guia do conhecimento em gerenciamento de projetos (Guia PMBOK®)**. 6. ed. Newtown Square: Project Management Institute, 2017. 726 p.

SINDIAVIPAR - Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná. **Empresas produtoras - Pr**. Curitiba: SINDIAVIPAR, 2020. 1 p. Disponível em: <https://sindiavipar.com.br/empresas-produtoras/>. Acesso em: 10 abr. 2022.

SMART ENERGY. **Institucional**. Curitiba: SMART ENERGY, 2020. 1 p. Disponível em: <https://smartenergy.org.br/institucional/>. Acesso em: outubro 2020.

SOUZA, S. N. M. **Manual de geração de energia elétrica a partir do biogás no meio rural**. Cascavel: Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2016. 47 p.

STAUB, L.; SOUZA, T. V.; TON, A. P. S. Management for reuse of avian bed. **Scientific Electronic Archives**, v. 10, p. 163-176, oct. 2017. DOI: 10.36560/1052017362.

SUZUKI, A. B. P. **Geração de biogás a partir de cama de aviário e manipueira: Uma alternativa à produção de energia limpa**, 1. ed. Republica da Moldova: Novas Edições Acadêmicas. 2015. 84 p.

TESSARO, A. B.; TESSARO, A. A.; CANTÃO, M. P.; MENDES, M. A. Potencial energético da cama de aviário produzida na região sudoeste do paraná e utilizada

como substrato para a produção de biogás. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente - RAMA**, Maringá, v.8, n. 2, mai/ago. 2015. DOI: 10.17765/2176-9168.2015v8n2p357-377.

TOLMASQUIM, M. T. (coord). **Energia renovável: Hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. 1. ed. Rio de Janeiro: EPE. 2016. 452 p.

UDDIN, W.; KHAN, B. K.; SHAUKAT, N.; MAJID, M.; MUJTABA, G.; MEHMOOD, C. A.; ALI, S.; YOUNAS, U.; ANWAR, S.; ALMESHAL, A. M. Biogas potential for electric power generation in Pakistan: A survey. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 54, p. 25-33, feb. 2016.

VALADÃO, F. C. A., MAAS, K. D. B.; WEBER, O. L. S.; VALADÃO JÚNIOR, D. D.; SILVA, T. J. Variação nos atributos do solo em sistemas de manejo com adição de cama de frango. **Revista Brasileira de Ciência e Solo**, v. 35, p. 2073-2082, dez. 2011. DOI: 10.1590/S0100-06832011000600022.

VARMA, V. S.; DAS, S.; SASTRI, C. V.; KALAMDHADA, A. S. Microbial degradation of lignocellulosic fractions during drum composting of mixed organic waste. **Sustainable Environment Research**. v. 27, n. 6, p. 265-272, nov. 2017. DOI: 10.1016/j.serj.2017.05.004.

VATS, N.; KHAN, A. A.; AHMAD, K. Options for Enhanced Anaerobic Digestion of Waste and Biomass – a Review. **Journal of Biosystems Engineering**, v. 45, p. 1-15, mar. 2020. DOI: 10.1007/s42853-019-00040-y.

VICENTE JR., D. J.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; PEREIRA, D. C.; SANTOS, F. T. Anaerobic digestion and co-digestion of poultry litter submitted to different reuses. **Engenharia Agrícola**, v. 38, n. 6, p. 961-967, nov./dec. 2018. DOI: 10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n6p961-967/2018.

VILLAGRÁ, A.; OLIVAS, I.; ALTHAUS, R. L.; GÓMEZ, E. A.; LAINEZ, M.; TORRES, A. G. Behavior of broiler chickens in four different substrates: A choice test. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v.16, n.1, p. 67-75, jan./mar. 2014. DOI: 10.1590/S1516-635X2014000100010.

XU, X.; DU, X.; WANG, F.; SHA, J.; CHEN, Q.; TIAN, G.; ZHU, Z.; GE, S.; JIANG, Y. Effects of Potassium Levels on Plant Growth, Accumulation and Distribution of Carbon, and Nitrate Metabolism in Apple Dwarf Rootstock Seedlings. **Frontiers in Plant Science**, v. 11, art. 904, jun. 2020. DOI: 10.3389/fpls.2020.00904.

YILMAZ, I. T.; GUMUS, M. Investigation of the effect of biogas on combustion and emissions of TBC diesel engine. **Fuel**, v. 188, p. 69–78, jan. 2017. DOI: 10.1016/j.fuel.2016.10.034.

ZANK, J. C. C.; BRANDT, L. S.; BEZERRA, R. C.; PEREIRA, E. N. As características do biogás e avaliação de substituição de combustíveis. **Exacta**, n. 18, p. 502-516, jul. 2020. DOI: 10.5585/exactaep.v18n3.10802.

ZUIN, L. F. S.; QUEIROZ, T. R. (coord.). **Agronegócios: Gestão, inovação e sustentabilidade**. 1. ed. São Paulo: Editora Saraiva. 2015. 312 p.

**APÊNDICE A – Tabela A1**

**Tabela A1 – Controle de temperatura, produção de biogás (litros/dia) e das condições meteorológicas**

Data	Temperatura interna		Temperatura externa		Leitura do medidor (litros)	Produção de biogás (litros)	Condições meteorológicas
	Mín.	Max.	Mín.	Max.			
01/03/2021	21,2	47,7	21,1	48,1	175,6	Início	Sol dia todo
02/03/2021	21,3	47,8	21,2	48,2	183,2	7,6	Sol dia todo
03/03/2021	21,2	47	20,1	35,1	205,6	22,4	Chuva dia todo
04/03/2021	20,2	28,1	19,4	22,7	212,0	6,4	Chuva dia todo
05/03/2021	19,9	30,3	19,3	26,4	218,8	6,8	Chuva dia todo
06/03/2021	20,4	48,9	19,6	42,3	229,8	11,0	Nublado de manhã / Sol a tarde
07/03/2021	20,4	31,9	19,5	29	233,8	4,0	Sol de manhã / Chuva a tarde
08/03/2021	19,5	49,8	19,2	42,6	243,6	9,8	Nublado parcial dia todo
09/03/2021	21,2	48,9	19,4	47,2	250,0	6,4	Nublado parcial dia todo
10/03/2021	19,4	48,9	18,6	39,9	256,2	6,2	Nublado parcial dia todo
11/03/2021	21,3	49,6	20,5	37,9	263,6	7,4	Sol dia todo
12/03/2021	22	50,4	21,2	40,2	271,0	7,4	Sol dia todo
13/03/2021	23,4	51,4	22,5	40,1	277,2	6,2	Sol dia todo
14/03/2021	24,1	51,7	23,2	39,9	280,4	3,2	Sol dia todo
15/03/2021	23	50,4	21,7	40,7	283,2	2,8	Sol até as 15:00 / após nub. e chuva
16/03/2021	22,1	55,4	21,5	43,2	288,2	5,0	Sol dia todo
17/03/2021	21,9	37,2	20,1	27,4	288,8	0,6	Nublado e chuva dia todo
18/03/2021	20,4	44,8	19,6	35,6	292,2	3,4	Sol dia todo
19/03/2021	21,6	44	20,9	35,6	295,2	3,0	Sol dia todo
20/03/2021	22,1	37,1	21,2	32,4	296,6	1,4	Nublado dia todo
21/03/2021	23,2	36,2	22,4	30,9	297,2	0,6	Nublado dia todo
22/03/2021	26,8	51,3	22,3	39,5	300,8	3,6	Sol dia todo
23/03/2021	23	51,8	21,9	40,8	303,8	3,0	Nublado de manhã / Sol a tarde
24/03/2021	24,7	52,1	23,2	41,2	306,6	2,8	Sol até as 16:00 / após nublado
25/03/2021	23,4	51,6	22,3	41,3	309,4	2,8	Sol dia todo
26/03/2021	24,3	50,1	23,4	38,9	311,6	2,2	Sol até as 16:00 / após nublado
27/03/2021	22	38,8	22,1	33,1	312,6	1,0	Sol até as 14:00 / após nub. e chuva
28/03/2021	25,5	45,8	24,3	34,6	314,4	1,8	Sol dia todo
29/03/2021	22,6	46,8	21,5	35,4	315,8	1,4	Sol com nuvens dia todo
30/03/2021	18,7	39,5	18	29,8	316,8	1,0	Sol com nuvens dia todo
31/03/2021	16,8	39,7	16,5	32,1	318,2	1,4	Sol dia todo
01/04/2021	16,9	43,9	16,5	30,1	319,6	1,4	Sol dia todo
02/04/2021	17,6	44,4	17	30,7	321,0	1,4	Sol dia todo
03/04/2021	18,7	43,4	18,1	30,6	322,4	1,4	Sol dia todo
04/04/2021	18,2	41,9	17,5	30,2	323,6	1,2	Sol dia todo

05/04/2021	17,9	38,3	17,2	29,3	325	1,4	Sol dia todo
06/04/2021	18,8	35,5	18,3	29,1	326,2	1,2	Sol dia todo
07/04/2021	18,9	33,8	18,3	29,1	327,0	0,8	Sol dia todo
08/04/2021	18,5	31,9	18,1	29,2	327,8	0,8	Sol dia todo
09/04/2021	19,4	30,9	18,7	29,1	328,4	0,6	Sol dia todo
10/04/2021	20,9	31,5	20,4	29,5	329,2	0,8	Sol dia todo
11/04/2021	20,9	33,8	20,4	31,1	330,0	0,8	Sol dia todo
12/04/2021	22,9	33,6	22,4	30,9	331,0	1,0	Sol dia todo
13/04/2021	22,3	34,1	21,2	30,4	331,6	0,6	Sol com nuvens dia todo
14/04/2021	18,9	31,9	18,1	28,6	332,2	0,6	Sol dia todo
15/04/2021	16,6	29,1	15,9	26,9	332,8	0,6	Sol dia todo
16/04/2021	18,2	28	17,8	25,4	333,2	0,4	Sol de manhã / Nublado a tarde
17/04/2021	18,4	28,6	18	26,8	333,8	0,6	Sol dia todo
18/04/2021	17,8	28,7	16,9	27,3	334,4	0,6	Sol com nuvens dia todo
19/04/2021	17,1	28,7	16,5	27,3	335,0	0,6	Sol dia todo
20/04/2021	16,5	26,5	16,2	26	335,4	0,4	Sol dia todo
21/04/2021	16	26,5	15,4	25,1	336,0	0,6	Sol dia todo
22/04/2021	14,1	26,5	14,5	24,7	336,4	0,4	Sol dia todo
23/04/2021	15,6	27,3	15,2	24,9	337,2	0,8	Sol dia todo
24/04/2021	17,8	30,5	17,5	27,4	338,0	0,8	Sol dia todo
25/04/2021	18,5	29,3	17,9	26,1	338,4	0,4	Sol dia todo
26/04/2021	16,9	27,4	16,6	25,2	338,8	0,4	Sol dia todo
27/04/2021	15,1	25,4	14,9	24,4	339,4	0,6	Sol dia todo
28/04/2021	15,4	26,4	15,2	24,8	339,6	0,2	Sol dia todo
29/04/2021	15	25,2	14,5	24,7	339,8	0,2	Sol dia todo

Fonte: Autoria própria (2021)

**APÊNDICE B – Tabela B1**

**Tabela B1 – Controle de pressão e umidade relativa realizada pelo Simepar**

<b>Data</b>	<b>Pressão (hPa)</b>	<b>Umidade relativa (%)</b>
01/03/2021	922,613	85,918
02/03/2021	924,071	91,404
03/03/2021	925,53	86,114
04/03/2021	923,891	100
05/03/2021	920,266	100
06/03/2021	920,784	85,838
07/03/2021	922,325	95,313
08/03/2021	923,309	79,63
09/03/2021	921,707	79,929
10/03/2021	920,816	64,267
11/03/2021	921,603	54,868
12/03/2021	923,763	43,366
13/03/2021	924,548	55,448
14/03/2021	925,406	63,886
15/03/2021	924,518	72,075
16/03/2021	923,067	67,287
17/03/2021	922,571	86,182
18/03/2021	922,698	71,229
19/03/2021	924,293	76,488
20/03/2021	926,663	74,893
21/03/2021	927,522	81,556
22/03/2021	926,455	69,611
23/03/2021	926,321	68,357
24/03/2021	926,377	68,481
25/03/2021	926,176	69,283
26/03/2021	925,209	72,506
27/03/2021	924,642	77,027
28/03/2021	924,459	70,185
29/03/2021	924,343	71,852
30/03/2021	923,151	79,802
31/03/2021	921,894	65,393
01/04/2021	922,944	57,518
02/04/2021	925,98	61,778
03/04/2021	926,982	62,074
04/04/2021	927,007	67,273
05/04/2021	926,454	70,144
06/04/2021	925,795	71,214

07/04/2021	926,841	72,423
08/04/2021	928,167	69,157
09/04/2021	928,855	61,815
10/04/2021	926,484	49,367
11/04/2021	925,634	49,655
12/04/2021	925,635	55,664
13/04/2021	927,154	77,282
14/04/2021	927,359	69,765
15/04/2021	926,306	65,999
16/04/2021	924,809	72,526
17/04/2021	923,973	75,378
18/04/2021	924,308	74,01
19/04/2021	926,09	72,241
20/04/2021	926,96	68,944
21/04/2021	926,847	69,469
22/04/2021	926,599	69,223
23/04/2021	926,351	65,555
24/04/2021	924,884	59,991
25/04/2021	924,244	66,83
26/04/2021	924,198	66,654
27/04/2021	925,006	48,897
28/04/2021	926,504	57,13
29/04/2021	929,526	62,286

---

Fonte: Simepar (2021)

**APÊNDICE C – Tabela C1**

Tabela C1 – Cálculo matemático para conversão da produção de biogás de m<sup>3</sup> para Nm<sup>3</sup>

Data	Pr (bar)	Rh (%/100)	Tp (K)	Tr (K)	Pv (bar)	Pp (bar)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Vazão (Nm <sup>3</sup> /h)	Volume (Nm <sup>3</sup> /dia)
01/03/2021	0,922613	0,85918	273,15	320,85	0,08419	1,013	0	0	0
02/03/2021	0,924071	0,91404	273,15	320,95	0,08419	1,013	0,000316667	0,000225372	0,005408936
03/03/2021	0,925530	0,86114	273,15	320,15	0,08419	1,013	0,000933333	0,000670563	0,016093514
04/03/2021	0,923891	1,00000	273,15	301,25	0,11970	1,013	0,000266667	0,000191952	0,004606848
05/03/2021	0,920266	1,00000	273,15	303,45	0,11970	1,013	0,000283333	0,000201558	0,004837385
06/03/2021	0,920784	0,85838	273,15	322,05	0,08419	1,013	0,000458333	0,000325620	0,007814869
07/03/2021	0,922325	0,95313	273,15	305,05	0,10843	1,013	0,000166667	0,000120654	0,002895693
08/03/2021	0,923309	0,79630	273,15	322,95	0,07206	1,013	0,000408333	0,000295225	0,007085396
09/03/2021	0,921707	0,79929	273,15	322,05	0,07206	1,013	0,000266667	0,000192933	0,004630390
10/03/2021	0,920816	0,64267	273,15	322,05	0,04687	1,013	0,000258333	0,000192654	0,004623690
11/03/2021	0,921603	0,54868	273,15	322,75	0,03748	1,013	0,000308333	0,000232108	0,005570582
12/03/2021	0,923763	0,43366	273,15	323,55	0,02650	1,013	0,000308333	0,000234420	0,005626091
13/03/2021	0,924548	0,55448	273,15	324,55	0,03748	1,013	0,000258333	0,000193975	0,004655409
14/03/2021	0,925406	0,63886	273,15	324,85	0,04687	1,013	0,000133333	9,91049E-05	0,002378517
15/03/2021	0,924518	0,72075	273,15	323,55	0,05828	1,013	0,000116667	8,58061E-05	0,002059346
16/03/2021	0,923067	0,67287	273,15	328,55	0,05230	1,013	0,000208333	0,000151810	0,003643448
17/03/2021	0,922571	0,86182	273,15	310,35	0,08419	1,013	0,000025000	1,84632E-05	0,000443116
18/03/2021	0,922698	0,71229	273,15	317,95	0,05828	1,013	0,000141667	0,000105869	0,002540852
19/03/2021	0,924293	0,76488	273,15	317,15	0,06484	1,013	0,000125000	9,29598E-05	0,002231036
20/03/2021	0,926663	0,74893	273,15	310,25	0,06484	1,013	0,000058333	4,45186E-05	0,001068447
21/03/2021	0,927522	0,81556	273,15	309,35	0,07592	1,013	0,000025000	1,88626E-05	0,000452702
22/03/2021	0,926455	0,69611	273,15	324,45	0,05520	1,013	0,000150000	0,000110704	0,002656893

23/03/2021	0,926321	0,68357	273,15	324,95	0,05230	1,013	0,000125000	9,23748E-05	0,002216995
24/03/2021	0,926377	0,68481	273,15	325,25	0,05230	1,013	0,000116667	8,61361E-05	0,002067266
25/03/2021	0,926176	0,69283	273,15	324,75	0,05520	1,013	0,000116667	8,60140E-05	0,002064335
26/03/2021	0,925209	0,72506	273,15	323,25	0,05828	1,013	0,000091667	6,75153E-05	0,001620366
27/03/2021	0,924642	0,77027	273,15	311,95	0,06484	1,013	0,000041667	3,15031E-05	0,000756075
28/03/2021	0,924459	0,70185	273,15	318,95	0,05520	1,013	0,000075000	5,61598E-05	0,001347835
29/03/2021	0,924343	0,71852	273,15	319,95	0,05828	1,013	0,000058333	4,33836E-05	0,001041206
30/03/2021	0,923151	0,79802	273,15	312,65	0,07206	1,013	0,000041667	3,11073E-05	0,000746575
31/03/2021	0,921894	0,65393	273,15	312,85	0,04952	1,013	0,000058333	4,47223E-05	0,001073335
01/04/2021	0,922944	0,57518	273,15	317,05	0,03966	1,013	0,000058333	4,46568E-05	0,001071762
02/04/2021	0,92598	0,61778	273,15	317,55	0,04455	1,013	0,000058333	4,45035E-05	0,001068084
03/04/2021	0,926982	0,62074	273,15	316,55	0,04455	1,013	0,000058333	4,46873E-05	0,001072496
04/04/2021	0,927007	0,67273	273,15	315,05	0,05230	1,013	0,000050000	3,81646E-05	0,000915951
05/04/2021	0,926454	0,70144	273,15	311,45	0,05520	1,013	0,000058333	4,48336E-05	0,001076006
06/04/2021	0,925795	0,71214	273,15	308,65	0,05828	1,013	0,000050000	3,86270E-05	0,000927048
07/04/2021	0,926841	0,72423	273,15	306,95	0,05828	1,013	0,000033333	2,59039E-05	0,000621695
08/04/2021	0,928167	0,69157	273,15	305,05	0,05520	1,013	0,000033333	2,62232E-05	0,000629357
09/04/2021	0,928855	0,61815	273,15	304,05	0,04455	1,013	0,000025000	1,99832E-05	0,000479596
10/04/2021	0,926484	0,49367	273,15	304,65	0,03157	1,013	0,000033333	2,68744E-05	0,000644987
11/04/2021	0,925634	0,49655	273,15	306,95	0,03157	1,013	0,000033333	2,66455E-05	0,000639492
12/04/2021	0,925635	0,55664	273,15	306,75	0,03748	1,013	0,000041667	3,31387E-05	0,000795328
13/04/2021	0,927154	0,77282	273,15	307,25	0,06838	1,013	0,000025000	1,91825E-05	0,000460379
14/04/2021	0,927359	0,69765	273,15	305,05	0,05520	1,013	0,000025000	1,96421E-05	0,000471411
15/04/2021	0,926306	0,65999	273,15	302,25	0,04952	1,013	0,000025000	1,99306E-05	0,000478334

16/04/2021	0,924809	0,72526	273,15	301,15	0,05828	1,013	0,000016667	1,31702E-05	0,000316085
17/04/2021	0,923973	0,75378	273,15	301,75	0,06484	1,013	0,000025000	1,95497E-05	0,000469194
18/04/2021	0,924308	0,74010	273,15	301,85	0,06148	1,013	0,000025000	1,96261E-05	0,000471026
19/04/2021	0,92609	0,72241	273,15	301,85	0,05828	1,013	0,000025000	1,97418E-05	0,000473803
20/04/2021	0,92696	0,68944	273,15	299,65	0,05522	1,013	0,000016667	1,33313E-05	0,000319952
21/04/2021	0,926847	0,69469	273,15	299,65	0,05522	1,013	0,000025000	1,99879E-05	0,000479711
22/04/2021	0,926599	0,69223	273,15	299,65	0,05522	1,013	0,000016667	1,33236E-05	0,000319767
23/04/2021	0,926351	0,65555	273,15	300,45	0,04952	1,013	0,000033333	2,67412E-05	0,000641790
24/04/2021	0,924884	0,59991	273,15	303,65	0,04194	1,013	0,000033333	2,66322E-05	0,000639172
25/04/2021	0,924244	0,66830	273,15	302,45	0,04952	1,013	0,000016667	1,32415E-05	0,000317796
26/04/2021	0,924198	0,66654	273,15	300,55	0,04952	1,013	0,000016667	1,33258E-05	0,000319820
27/04/2021	0,925006	0,48897	273,15	298,55	0,03157	1,013	0,000025000	2,05376E-05	0,000492903
28/04/2021	0,926504	0,57130	273,15	299,55	0,03748	1,013	0,000008333	6,78944E-06	0,000162946
29/04/2021	0,929526	0,62286	273,15	298,35	0,04435	1,013	0,000008333	6,79272E-06	0,000163025

Fonte: Autoria própria (2022)