



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS – UFAM
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS DO AMBIENTE E
SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA – PPGCASA



LETÍCIA BARROS DE ALENCAR

**“POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO DA CASCA DE TUCUMÃ
CODIGERIDA COM EXCRETAS DE AVES POEDEIRAS”**

MANAUS/AM

2023

LETICIA BARROS DE ALENCAR

**“POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO DA CASCA DE TUCUMÃ
CODIGERIDA COM EXCRETAS DE AVES POEDEIRAS”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Mathias Pereira.

MANAUS/AM

2023

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

A368p Alencar, Leticia Barros de
Potencial bioquímico de metano da casca de tucumã codigerida
com excretas de aves poedeiras / Leticia Barros de Alencar . 2023
83 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Anderson Mathias Pereira
Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e
Sustentabilidade na Amazônia) - Universidade Federal do
Amazonas.

1. Biodigestão anaeróbica. 2. Metodologia. 3. Baixo custo. 4.
Avicultura de postura.. I. Pereira, Anderson Mathias. II.
Universidade Federal do Amazonas III. Título

LETICIA BARROS DE ALENCAR

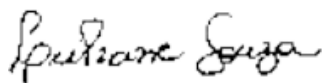
**“POTENCIAL BIOQUÍMICO DE METANO DA CASCA DE TUCUMÃ
CODIGERIDA COM EXCRETAS DE AVES POEDEIRAS”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia.

Orientador: Prof. Dr. Anderson Mathias Pereira.

Aprovação: Manaus/AM, 14/04/2023.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dra. Leiliane do Socorro Sodré de Souza
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Victor Lamarão
Prof. Dr. Biotecnologia

SLAPE 1738200

Prof. Dr. Carlos Victor Lamarão Pereira
Universidade Federal do Amazonas – UFAM



Prof. Dr. Jamal da Silva Char
Universidade Federal do Amazonas – UFAM

MANAUS/AM

2023

AGRADECIMENTOS

Á Deus pela oportunidade de ter cursando mestrado e a todos que de alguma forma contribuíram para esta realização.

Agradeço pelo incentivo e suporte dado pelos meus familiares, amigos e meu noivo Moisés Quaresma.

Ao meu Orientador, Prof. Dr. Anderson Mathias Pereira, pela atenção, apoio e por ter aceitado me orientar mesmo com toda dificuldade envolvida para realização desta pesquisa. Agradeço também, ao Prof. Dr. Nildo Viana e Prof. Dr. Henrique Pereira, que em dado período também me orientaram e apoiaram no desenvolvimento deste trabalho. Ao Ketson Patrick, pelos dias que dedicou a contribuir nesta pesquisa e por todo apoio concedido.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, pela bolsa fornecida, auxiliando na realização deste trabalho.

A todos do Laboratório de Processos de Separação Biomassa, Biocombustíveis e Bioprodutos – LABPROS, pela recepção e grande contribuição na realização das análises e experimentos.

Muito obrigada!

“Entregue seu caminho ao Senhor, confie Nele e Ele agirá.”

Salmos 37:5.

RESUMO

A produção de biogás através de resíduos associados à agropecuária evidencia-se como uma das alternativas para diversificar a matriz energética brasileira, uma vez que, os resíduos agroindustriais são caracterizados por possuírem grande potencial para produção de energia limpa e barata. Nesse contexto, o presente trabalho avaliou em escala laboratorial a geração de biogás através da digestão anaeróbia, utilizando excretas de aves de postura como inóculo (INO) e casca de tucumã como substrato (SUB), sendo estes dois resíduos muito presentes na produção do Estado do Amazonas. As proporções utilizadas para o experimento foram: **(i)** 75% de SUB com 25% de INO, **(ii)** 50% de SUB com 50% de INO e **(iii)** 25% de SUB com 75% de INO, utilizando-se 08 reatores. O experimento foi conduzido em duplicatas com Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de 37 dias e manutenção da temperatura constante por meio de circulação externa de água a $37 \pm 2^\circ\text{C}$. Foi realizado o método estabelecido por Justesen, *et al.* (2019) para medição do Potencial Bioquímico de Metano (PBM), que se baseia na medição da Densidade de Gás (DG) para estimar a quantidade CH_4 no biogás. As análises físico-químicas demonstraram que a excreta de aves de postura possui $22,68 \pm 0,83\%$ ST, $95,40 \pm 2,10\%$ SV, $77,31 \pm 0,64\%$ U, e ainda, $30,16 \pm 0,15\%$ C, $4,09 \pm 0,15\%$ H, $5,46 \pm 0,43\%$ N e $34,9 \pm 1,20\%$ de proteína bruta. Quanto a casca de tucumã possui $48,24 \pm 0,01\%$ ST, $96 \pm 3,30\%$ SV e $51,76 \pm 0,93\%$ U e ainda, $53,74 \pm 0,62\%$ C, $7,50 \pm 0,17\%$ H, $1,5 \pm 0,04\%$ N e $22 \pm 0,38\%$ de proteína bruta. Através do método utilizado, foi possível se estimar o biogás produzido, sendo observado que as duas amostras com maior concentração de substrato sendo na proporção de 75% de SUB e 25% de INO foram as que mais produziram biogás, com 620ml e 296ml respectivamente. E as que menos produziram foram as amostras que com menor concentração de substrato com proporção de 25% de SUB e 75% de INO, sendo 55ml, 56ml e 70ml respectivamente. Porém, foi identificada uma produção acumulada em duplicata com diferenças significativas e diante disso, foram elencadas falhas identificadas e possíveis recomendações desde a preparação das amostras ao experimento, de maneira a corroborar com trabalhos futuros utilizando a metodologia de Justesen, *et al.* (2019) para medição do PBM através da DG.

Palavras-chave: Biodigestão anaeróbica, Metodologia, Baixo custo, Avicultura de postura.

ABSTRACT

The production of biogas through residues associated with agriculture and livestock is evident as one of the alternatives to diversify the Brazilian energy matrix, since agro-industrial residues are characterized by having great potential for the production of clean and cheap energy. In this context, the present work evaluated, on a laboratory scale, the generation of biogas through anaerobic digestion, using excreta from laying birds as inoculum (INO) and tucuma bark as substrate (SUB), these two residues being very present in the production of the State from the Amazon. The proportions used for the experiment were: (i) 75% SUB with 25% INO, (ii) 50% SUB with 50% INO and (iii) 25% SUB with 75% INO, using 08 reactors. The experiment was conducted in duplicates with a Hydraulic Retention Time (HRT) of 37 days and constant temperature maintenance through external water circulation at $37 \pm 2^\circ\text{C}$. The method established by Justesen, et al. (2019) for measuring the Biochemical Potential of Methane (BPM), which is based on measuring the Gas Density (GD) to estimate the amount of CH_4 in biogas. The physical-chemical analyzes showed that the excreta of laying hens has $22.68 \pm 0.83\%$ TS, $95.40 \pm 2.10\%$ VS, $77.31 \pm 0.64\%$ M, and also $30.16 \pm 0.15\%$ C, $4.09 \pm 0.15\%$ H, $5.46 \pm 0.43\%$ N and $34.9 \pm 1.20\%$ crude protein. As for the tucuma bark, it has $48.24 \pm 0.01\%$ TS, $96 \pm 3.30\%$ VS and $51.76 \pm 0.93\%$ M and also, $53.74 \pm 0.62\%$ C, $7.50 \pm 0.17\%$ H, $1.5 \pm 0.04\%$ N and $22 \pm 0.38\%$ crude protein. Through the method used, it was possible to estimate the biogas produced, observing that the two samples with the highest substrate concentration being in the proportion of 75% SUB and 25% INO were the ones that produced the most biogas, with 620ml and 296ml respectively. And the ones that produced the least were the samples with the lowest concentration of substrate with a proportion of 25% SUB and 75% INO, being 55ml, 56ml and 70ml respectively. However, an accumulated production in duplicate with significant differences was identified and, therefore, identified failures and possible recommendations were listed from sample preparation to the experiment, in order to corroborate future work using the methodology of Justesen, et al. (2019) for measuring BPM through GD.

Key words: Anaerobic digestion, Methodology, Low cost, Laying poultry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Oferta Interna de Energia – OIE do Brasil, 2020.....	18
Figura 2. Fontes de Energias Renováveis no Brasil.	18
Figura 3. Granja de avicultura de postura, onde foi realizada coleta das excretas. Fonte: Alencar, 2020.	42
Figura 4. Amostras em cadinhos para análises iniciais. Fonte: Alencar, 2020.	44
Figura 5. Reator laboratorial. Fonte: Alencar, 2022.....	47
Figura 6. Agitador mecânico. Fonte: Alencar, 2023.	48
Figura 7. Amostras 01, 02 e 03 com diferentes headspace do experimento. Fonte: Alencar, 2022.	49
Figura 8. Reatores do experimento. Fonte: Alencar, 2022.....	51
Figura 9. Processo de ventilação do gás produzido. Fonte: Alencar, 2022.....	52
Figura 10. Produção de biogás durante o período do experimento. Fonte: Alencar, 2023.	57
Figura 11. Produção acumulada de biogás durante o período do experimento. Fonte: Alencar, 2023.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características do biogás.	30
Tabela 2. Equivalência entre 1 m ³ de biometano e outros energéticos.	31
Tabela 3. Quantidade de rejeitos necessários para a produção de 1m ³ de biogás	32
Tabela 4. Potenciais médios de produção de biogás, corrigidos para 20°C e 1 atm.....	37
Tabela 5. Produção média diária de biogás, em m ³ , desvio padrão, coeficiente de variação e produção total de biogás, em m ³ , para os quatro TRH.	37
Tabela 6. Estudos de biodigestão anaeróbica com substrato vegetal e de aves.....	39
Tabela 7. Configuração de montagem das 03 primeiras amostras.	49
Tabela 8. Configuração de montagem das amostras de 01 a 05.	50
Tabela 9. Configuração de montagem das amostras de 01 a 08.	50
Tabela 10. Resultados das análises das excretas (aves poedeiras de sistema convencional).....	55
Tabela 11. Resultados das análises da casca de tucumã.	56
Tabela 12. Produção acumulada de biogás.	58
Tabela 13. Fração molar de metano das amostras.	60
Tabela 14. Levantamento de falhas e recomendações sugeridas pela pesquisa.	64

LISTA DE ABREVIATURAS

Amônia Livre – NH₃
Balanço Energético Nacional – BEM
Boro – B
Cálcio – Ca
Carbono/Nitrogênio – C/N
Cloro – Cl
Cobre – Cu
Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA
Cromatógrafo a Gás – CG
Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO
Demanda Química de Oxigênio – DQO
Densidade de Gás – DG
Dióxido de Carbono – CO₂
Empresa de Pesquisa Energética – EPE
Enxofre – S
Estações de Tratamento de Esgoto – ETE
Faculdade de Ciências Agrárias – FCA
Ferro – Fe
Fibra em Detergente Ácido – FDA
Fibra em Detergente Neutro – FDN
Fósforo – P
Gás Sulfídrico – H₂S
Gases do Efeito Estufa – GEE
Hidrogênio – H
Infravermelho – IR
Inóculo – INO
Inóculo/Substrato – I/S
Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE
Instituto de Química da Universidade de São Paulo – IQ-USP
Laboratório de Pesquisas e Ensaio de Combustíveis – LAPEC
Laboratório de Processos de Separação – LABPROS
Magnésio – Mg

Manganês – Mn

Metano – CH₄

Molibdênio – Mo

Nitrogênio – N

Nitrogênio – N₂

Objetivos do Desenvolvimento Sustentável – ODS

Organização das Nações Unidas – ONU

Poder Calorífico Inferior – PCI

Potássio – K

Potencial Bioquímico de Metano – PBM

Produto Interno Bruto – PIB

Proteína Bruta – PB

Resíduos Sólidos Urbanos – RSU

Sólidos Fixos – SF

Sólidos Totais – ST

Sólidos Voláteis – SV

Substrato – SUB

Tempo de Retenção Hidráulica – TRH

Universidade Federal do Amazonas – UFAM

Zinco – Zn

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	15
2. OBJETIVOS	17
2.1. Objetivo Geral.....	17
2.2. Objetivos Específicos	17
3. REFERENCIAL TEÓRICO	18
3.1. Biogás e Meio Ambiente	19
3.2. Biodigestão Anaeróbica.....	21
3.2.1. Fases da digestão anaeróbica.....	25
3.2.2. Potencial Bioquímico de Metano – PBM.....	26
3.3. Metodologias de Avaliação do Potencial Bioquímico de Metano (PBM).....	27
3.4. Método de avaliação da Densidade de Gás do Potencial Bioquímico de Metano (DG-PBM)	28
3.5. Biogás	30
3.5.1. Biofertilizantes	32
3.6. Avicultura de Postura.....	34
3.7. Características e potencial de produção de biogás da excreta da avicultura de postura.....	35
3.8. Biodigestão anaeróbica na avicultura	36
3.9. Codigestão e sua influência da produção de biogás.	38
3.10. Substrato Vegetal.....	39
3.11. Produção avícola no Estado do Amazonas.....	40
4. MATERIAL E MÉTODOS	41
4.1. Local do Experimento e Análises	41
4.2. Coleta dos Resíduos.....	42
4.3. Caracterização do Material Utilizado	42
4.3.1. Sólidos totais (ST), Sólidos Voláteis (SV) e Sólidos Fixos (SF)	43
4.4. Análises físico-químicas	44
4.5. Método Experimental	47
4.5.1. Preparação do Inóculo	47
4.5.2. Montagem do sistema de biodigestão anaeróbica	48
4.5.3. Preparação das Amostras.....	48
4.5.4. Pesagem e Ventilação.....	51

4.5.5. Cálculos do Método DG-PBM	53
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
5.1. Análises físico-químicas iniciais das excretas de aves de postura.....	54
5.2. Análises físico-químicas iniciais da casca de tucumã.....	56
5.3. Produção de Biogás	57
5.3.1. Produção acumulada de biogás.....	57
5.4. Potencial Bioquímico do Metano-PBM.....	60
5.5. Falhas identificadas na preparação do experimento	61
5.5.1. Vedação do Reator.....	61
5.5.2. Manômetro	61
5.5.3. Precisão da Balança	62
5.5.4. Adição de inóculo no reator.....	62
5.5.5. Frequência e modo de agitação	63
6. CONCLUSÕES.....	65
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	66

1. INTRODUÇÃO

Considerando o aumento da população a cada ano, novas alternativas para diminuir a utilização de combustíveis fósseis na produção de energia têm sido utilizadas para atender as demandas mundiais.

Fontes de energias renováveis têm sido alvo de pesquisas de muitos países com intuito de mitigar impactos ambientais decorrentes de atividades potencialmente poluidoras, como por exemplo a emissão de Gases do Efeito Estufa (GEE). Dentre os compromissos ambientais assumidos pelos países, pode-se citar os Objetivos da Agenda 2030.

No Brasil, a agropecuária é responsável por cerca de 28% do PIB nacional e utiliza o solo para o cultivo de vegetais e criação de animais (CEPEA, 2021). Nesse contexto, em virtude dos resíduos agroindustriais, oriundos das criações de animais realizadas de forma intensiva, considera-se, o país com grande potencial para produção de energia limpa e barata (SANTOS *et al.*, 2017), sendo uma alternativa a biodigestão anaeróbica, que conforme Zeb *et al.* (2017), é uma tecnologia comprovada de gerenciamento de resíduos que mitiga as emissões de odor, patógenos e gases de efeito estufa. Além disso, o processo gera a produção de biogás que pode ser convertido em energia renovável e o biofertilizante rico em nutrientes.

Nesse cenário, a produção de biogás a partir de subprodutos da pecuária, resíduos da agroindústria e biomassa de matérias-primas agrícolas estão recebendo atenção especial em todo o mundo. Possuindo dois parâmetros críticos para a determinação do valor econômico intrínseco da produção de biogás, sendo um deles o Potencial Bioquímico de Metano (PBM) do fornecimento de matéria-prima e o outro é a capacidade de disponibilidade do substrato (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2010).

Nesse contexto, como opção pode-se citar, excretas da avicultura de postura, as quais são utilizadas normalmente como fertilizante para produção agrícola no Estado do Amazonas. Contudo, conforme Owamah *et al.* (2020) o fósforo presente na excreta, uma vez no solo, é liberado pela ação das *fitases*, passando para rios e lagos, dando origem aos fenômenos de eutrofização. Logo, sendo questionável se há vantagens da utilização desses resíduos como adubo orgânico “*in natura*” ou para biodigestão, a qual gera biogás e biofertilizantes.

Atagana (2004), estudando compostagem com dejetos de galinhas poedeiras encontrou uma relação Carbono/Nitrogênio (C/N) de 4/1. Nesse sentido, considerando

que a relação ideal de C/N é entre 20:1 e 30:1 (CASSINI, 2003), a utilização de outro resíduo com um teor favorável de carbono pode favorecer o processo, através por exemplo da codigestão.

Porém, pesquisas relacionadas a produção de biogás demandam a utilização de equipamentos de alto custo, que muitos laboratórios ainda não possuem disponível, desse modo, novos métodos podem ser essenciais para desenvolvimento de trabalhos relativos a este tema.

Métodos experimentais convencionais para medir PBM são tipicamente baseados em deslocamento volumétrico em um cilindro externo, mantendo sua pressão constante, ou medições de acúmulo de pressão no *headspace* de uma garrafa com volume fixo. Esses métodos são conhecidos como volumétricos e manométricos, respectivamente (RAPOSO *et al.*, 2012; FILER *et al.*, 2019; ROZZI *et al.*, 2004). A medição gravimétrica também é possível e tem algumas vantagens em relação às abordagens convencionais, incluindo precisão mesmo na presença de vazamentos (HAFNER, 2015; HAFNER, 2019).

A determinação separada do teor de metano do biogás é normalmente necessária para todos esses métodos. Sendo o conteúdo do CH₄, geralmente medido por um cromatógrafo a gás ou infravermelho, que exige um investimento financeiro significativo para aquisição, manutenção e padrões de calibração, bem como habilidades técnicas especializadas para medições precisas (JUSTESEN *et al.*, 2019).

Para remoção de dióxido de carbono – CO₂ e medição de CH₄ residual, sistemas automatizados que incluem a remoção de CO₂ com a lavagem do biogás através de uma solução alcalina (WANG *et al.*, 2014; HOLLIGER *et al.*, 2017). No entanto, o custo de um sistema automatizado é elevado para muitos laboratórios e usinas de biogás, principalmente em países de baixa e média renda, restringindo assim, trabalhos e aplicações.

Nesse viés, tendo em vista a importância do desenvolvimento de pesquisas que visem a redução de custos e a acessibilidade à novas tecnologias, o presente trabalho visa avaliar o PBM da casca de tucumã codigerida com excretas de aves poedeiras aplicando a metodologia de avaliação de Densidade de Gás (DG), de baixo custo a qual foi desenvolvida por Justesen *et al.* (2019).

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Aplicar a metodologia de avaliação de Densidade de Gás (DG) de baixo custo para medição de Potencial Bioquímico de Metano (PBM), utilizando como inóculo a excreta de aves de postura e substrato a casca de tucumã (*Astrocaryum aculeatum*).

2.2. Objetivos Específicos

1. Construir em escala laboratorial reatores para o experimento de produção de biogás por batelada, devidamente instrumentado;
2. Caracterizar, por meio de análises físico-químicas, as excretas e a casca de tucumã a serem utilizados no processo de biodigestão anaeróbica;
3. Identificar o Potencial Bioquímico de Metano produzido nas proporções a serem estabelecidas no presente trabalho, utilizando o método GD-PBM;
4. Identificar e recomendar e instrumentos ideais para o processo de biodigestão de maneira e mitigar possíveis falhas antes e durante o experimento laboratorial.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Conforme o Balanço Energético Nacional – BEM (2021) da Empresa de Pesquisa Energética (EPE), em seu Relatório Síntese do ano base de 2020, o Brasil possui uma oferta interna de energia não renovável 51,6%, sendo 33,1% proveniente de petróleo e derivados. E de energias renováveis 48,4%, distribuídos entre biomassa da cana, hidráulica, lenha/carvão vegetal e outras fontes, conforme pode ser observado na figura 01 abaixo:

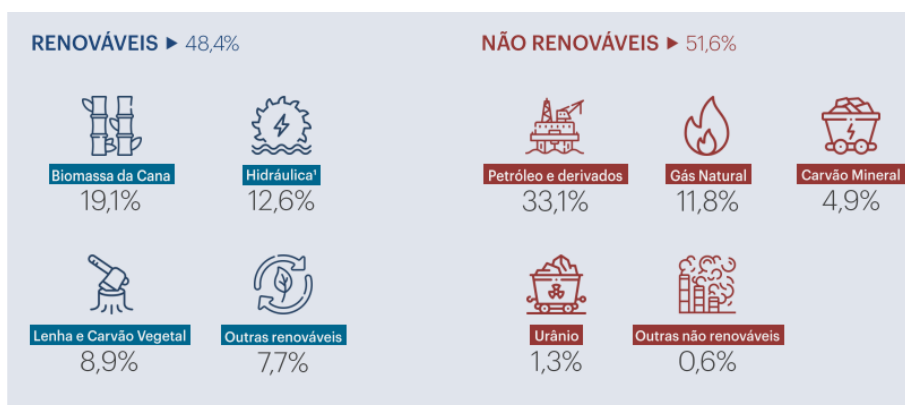


Figura 1. Oferta Interna de Energia – OIE do Brasil, 2020.

Fonte: BEN 2021, Relatório Síntese, ano base 2020.

Dentre as outras energias renováveis que compõem 7,7% da oferta de energia no Brasil, 43,1% é proveniente de lixívia e apenas 1,4% proveniente de biogás, conforme pode ser observado na figura 02.

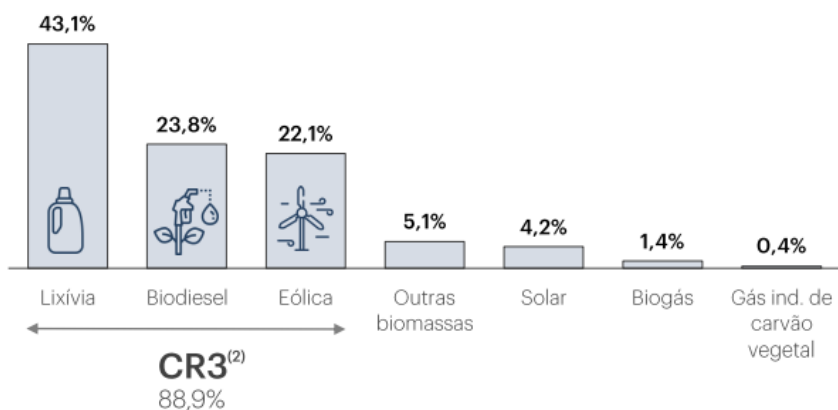


Figura 2. Fontes de Energias Renováveis no Brasil.

Fonte: BEN 2021, Relatório Síntese, ano base 2020.

⁽²⁾ Índice de Razão de Concentração – CR3, é a representatividade das 3 maiores fontes juntas.

Conforme CiBiogás (2021), o Brasil possui 675 plantas de biogás e deste total, 148 novas plantas foram instaladas em 2020, representando um crescimento de 22% em relação ao ano de 2019. Em 2020, as plantas em operação produziram 1,83 bilhão de Nm³ de biogás. Após o início da operação das 37 plantas que estão em fase de implantação ou em reforma, o Brasil alcançará uma produção anual de 2,2 bilhões de Nm³.

Os substratos utilizados para produção de biogás são divididos em 3 classes quanto sua origem: agropecuária, indústria, aterro sanitário e estações de tratamento de esgoto (RSU e ETE). A principal fonte de substrato utilizada para produção de biogás em sistemas de biodigestão no Brasil é a **agropecuária**, representando **79% das plantas em operação no país**, por outro lado, sua contribuição no volume total de biogás é de apenas 11%. Já plantas que processam resíduos sólidos urbanos ou efluentes de estações de tratamento de esgoto representam 9% das plantas em operação, porém, são responsáveis por 73% do biogás produzido no país. Na distribuição das plantas instaladas para fins energéticos, o maior volume encontra-se no Estado de Minas Gerais com 225 e o Amazonas possuindo apenas 01, sendo o potencial e energia elétrica proveniente do biogás de 492 GWh/a (CiBiogás, 2021).

O potencial nacional de produção de biogás bruto calculado pela CiBiogás, é de 82,58 bilhões de metros cúbicos ao ano, considerando os setores sucroenergético, saneamento, proteína animal e produção agrícola. Ao comparar este potencial com o atual cenário de produção de biogás brasileiro de 1,83 bilhão de metros cúbicos ao ano, constata-se que apenas 2% do total é aproveitado e que há oportunidade de expandir em 98% a produção de biogás no Brasil. Sendo indiscutível que há ainda um grande potencial de produção a ser explorado, porém o biogás tem conquistado cada vez mais seu espaço sobretudo por ser uma fonte renovável de energia, que pode contribuir de forma significativa para a transição energética no país.

É evidente que, no Brasil a uma vantagem competitiva relacionada ao custo inferior das culturas e dos resíduos agroindustriais, quando comparado aos países europeus, assim, abrindo possibilidades para aumentar a escala da exploração industrial do biogás no Brasil, especialmente com relação aos resíduos agroindustriais. (MILANEZ, 2018).

3.1. Biogás e Meio Ambiente

No fim de 2021, durante a 26ª Conferência das Nações Unidas sobre mudanças climáticas (COP 26), ocorrido na Cidade de Glasgow, na Escócia, o Brasil foi um dos participantes, dentre os 197 países que participam do evento (FAÉ, 2022), em que foi assinado um compromisso internacional enfatizando a necessidade de uma rápida redução de carbono, com a pretensão de chegar a uma redução de 45% até 2030, em relação aos níveis de 2010 para que no ano de 2050 as emissões sejam neutralizadas globalmente. Ou seja, depois de 2050, toda e quaisquer emissões adicionais devem ser compensadas com reflorestamento ou mecanismos de captura de carbono (DUARTE, 2022).

A partir de uma projeção de crescimento da atividade econômica até 2030, o Brasil apresentou os seguintes compromissos e medidas para a agenda estratégica voltada à neutralidade climática (WRI Brasil, 2021):

- ✓ Mitigar 50% de suas emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) até 2030, usando como linha de base o ano de 2005 e como referência o Quarto Inventário Nacional de Emissões. Sendo o mesmo assumido pelo Brasil em 2015;
- ✓ Declaração dos Líderes de Glasgow sobre Florestas e Uso da Terra, que tem como objetivo principal acabar com o desmatamento até 2030;
- ✓ Compromisso Global de Metano, que tem como objetivo principal reduzir as emissões do gás metano em 30% até 2030;
- ✓ Pacto de Glasgow, que insere o objetivo de limitar o aquecimento global a 1,5°C no centro dos esforços globais.

A solução da biodigestão atua, portanto, auxiliando no cumprimento de vários compromissos assumidos pelo País na COP 26, relativos à geração de energia. Sendo seus efeitos benéficos para a gestão dos efluentes do processo produtivo agropecuário, mitigando a poluição ambiental, seus impactos sobre a saúde e na redução de GEE.

Esses compromissos possuem relação também com os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) que fazem parte da chamada “Agenda 2030”. A qual trata-se de um pacto global assinado durante a Cúpula das Nações Unidas em 2015 por 193 países membros. A Agenda é composta por 17 objetivos interconectados, desdobrados em 169 metas, com foco em superar os principais desafios de desenvolvimento enfrentados mundialmente, promovendo o crescimento sustentável global até 2030. Os 17 Objetivos da ODS, são relacionados a diferentes temas, abrangendo aspectos ambientais e sociais.

Dentre esses objetivos, conforme Organização das Nações Unidas (ONU), pode ser mencionado o Objetivo nº 2. Fome zero e Agricultura Sustentável, que inclui:

Objetivo 2, Meta 4: “Garantir sistemas sustentáveis de produção de alimentos e implementar práticas agrícolas resilientes, que aumentem a produtividade e a produção, que ajudem a manter os ecossistemas, que fortaleçam a capacidade de adaptação às mudanças climáticas, às condições meteorológicas extremas, secas, inundações e outros desastres, e que melhorem progressivamente a qualidade da terra e do solo”.

E também o Objetivo nº 7, que se trata de assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todas, em específico nos itens:

Objetivo 7, meta 2: Até 2030, aumentar substancialmente a participação de energias renováveis na matriz energética global.

Objetivo 7, meta 3.a: Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa.

Objetivo 7, meta 3.b: Até 2030, expandir a infraestrutura e modernizar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos os países em desenvolvimento, particularmente nos países menos desenvolvidos, nos pequenos Estados insulares em desenvolvimento e nos países em desenvolvimento sem litoral, de acordo com seus respectivos programas de apoio”.

Desse modo, sendo evidente a importância de pesquisas relacionadas a fontes de energias renováveis, no intuito de contribuir com possíveis alternativas na redução na utilização de combustíveis fósseis para geração de energia e ainda nos compromissos ambientais firmados pelo Brasil.

3.2. Biodigestão Anaeróbica

É um processo bioquímico que ocorre na ausência de oxigênio ou dos seus precursores (CARRILHO, 2012), no qual microrganismos atuam na conversão da matéria orgânica complexa (carboidratos, proteínas e lipídios) em metano (CH₄), compostos

inorgânicos como o dióxido de carbono (CO₂), nitrogênio (N₂), amônia livre (NH₃), gás sulfídrico (H₂S) e traços de outros gases e ácidos orgânicos de baixo peso molecular (VICTORINO, 2016). Ou seja, a biodigestão anaeróbia é um sistema de tratamento no qual a matéria orgânica é degradada até a forma de metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) em condições anaeróbias (DEMIRER E CHEN, 2005), gerando um resíduo com potencial fertilizante podendo ser usado na agricultura orgânica.

O metano produzido pode ser utilizado como fonte de energia, na substituição de combustíveis fósseis e, deste modo, agregar valor à produção e diminuir a emissão de dióxido de carbono (SILVA *et al.*, 2005; ORRICO *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2007).

O processo de produção do CH₄ é influenciado por fatores como temperatura, carga orgânica, presença de materiais tóxicos e tempo de biodigestão. Em temperaturas elevadas, as reações biológicas ocorrem com maior velocidade, resultando em maior eficiência do processo, geralmente o processo anaeróbico desenvolve-se em temperaturas mesófilas (30°C a 45°C) ou termófilas (45°C a 60°C). Quanto à carga orgânica, a digestão anaeróbica suporta variações, principalmente se os reatores encontram-se operando em estado de equilíbrio (CASSINI, 2003).

A composição do substrato influencia diretamente no potencial de degradação do material (ORRICO *et al.*, 2007) sendo um aspecto muito importante para o bom desempenho da digestão anaeróbica a relação carbono/nitrogênio (C/N).

Dejetos com alto teor de nitrogênio tem a necessidade de ser **codigeridos** preferencialmente com resíduos que possuem baixo teor de nitrogênio (ALVAREZ *et al.*, 2007), isto que consiste na digestão anaeróbia de uma mistura de substratos com diferentes características, sendo uma maneira de reduzir patógenos, repor nutrientes em falta do outro substrato e aumentar produção de biogás (MATA-ALVAREZ *et al.*, 2011).

Dentre os fatores que influenciam ou afetam o processo, pode-se destacar:

- **Temperatura:** Faixa psicrófila entre 0° a cerca de 20°C, faixa mesofílica entre 20°C e cerca de 45°C e faixa termofílica entre 45°C a cerca de 70°C e acima (LETTINGA, *et al.*, 1996). Para Speece (1996), nos processos mesofílicos, a temperatura ótima é na faixa de 25°C a 30°C e para cada 5°C de queda de temperatura, há um declínio de 34% da atividade dos microrganismos;

- **pH:** Ele se manifesta sob diferentes formas alterando as cargas dos sítios ativos das enzimas, modificando suas estruturas e consequentemente perdendo suas características, aumentando ou diminuindo a toxicidade destes (SALOMON, 2007). Segundo a mesma autora, as arqueas metanogênicas, tem sua faixa ótima de pH de 6,5 a 8,2, e em condições fora desses limites decresce a taxa de produção de metano, ainda descreve que o ácido carbônico e os ácidos voláteis são os compostos que mais influenciam o pH nos processos anaeróbios.
- **Toxicidade:** É considerada uma das razões para a não aplicação de processos anaeróbios, pois as bactérias metanogênicas são facilmente inibidas pelas toxinas devido a pequena fração de substratos sintetizados e ao elevado tempo de geração dessas bactérias (SALOMON, 2007). Alguns compostos orgânicos podem ter efeito tóxico, como a amônia, esta que é encontrada nos dejetos de aves. Mas, segundo Speece (1996), a adição de 10.000mg/L de N-NH₄, de amônia a uma biomassa metanogênica neutra, levou a queda gradual do pH a 0, entretanto após 10 dias a atividade da biomassa retomou a 70%, mostrando que a NH₃ não tem efeito bactericida;
- **Teor de Água:** Segundo Cassini (2003), o teor de água presente no biodigestor deve variar entre 60% e 90% do peso do conteúdo total, tanto o excesso, como a falta de água são prejudiciais. O teor de água varia com as diferenças apresentadas pelas matérias-primas destinadas à fermentação. Segundo Leeson *et al.* (2000), nos dejetos frescos de galinhas poedeiras encontram-se 70% de água e já nos dejetos acumulados durante o ano 28% de umidade;
- **Nutrientes:** Dentre os principais nutrientes das bactérias estão o carbono, nitrogênio e sais orgânicos. A relação específica ideal entre C/N é 20:1 e 30:1, favorecendo a uma produção bem-sucedida de biogás (CASSINI, 2003);
- **Agitação do Sistema:** Esta permite um maior contato entre os microrganismos evitando a formação das chamadas “zonas mortas”, as quais são resultado da sedimentação do lodo e podem causar perda de parte

da capacidade útil do reator (BOHRZ, 2010). Garante melhor contato entre a biomassa ativa e a alimentação; uniformidade física, química e biológica em todo o reator; bem como a dispersão rápida dos produtos metabólicos da digestão e de qualquer substância tóxica que entre no sistema, minimizando assim os efeitos inibidores da atividade microbiana; além de prevenir a formação de espuma (bolhas esbranquiçadas) e o desenvolvimento de gradientes de temperatura no interior do reator (MONNET, 2003; VITORATTO, 2004).

Nesta pesquisa, estes parâmetros serão investigados em específico para digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura.

A relação carbono/nitrogênio é um fator relevante no processo de digestão, visto que todos os organismos vivos necessitam de nitrogênio para sintetizar proteínas, devendo existir uma correta proporção entre C/N, pois em caso contrário as bactérias não seriam capazes de consumir todo carbono presente e o desempenho do processo seria baixo (SGORLON *et al.*, 2011).

Segundo Silva (2001), a concentração máxima de sólidos totais para se obter a produção máxima de biogás deve ser inferior a 8%, faixa que possibilita um melhor deslocamento do material no biodigestor, assim evitando possíveis danos como entupimentos nos canos de entrada e saída do reator. Em casos com concentrações maiores que 10%, além de ocorrer a diminuição da eficiência do biodigestor, aumenta-se a probabilidade de criação de crosta.

O tempo necessário para que o material complete a digestão é denominado Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), no qual consiste no tempo de saída e entrada de materiais no digestor, como sólidos, células e água (MOURA, 2012).

As vantagens do processo são: redução de microrganismos patogênicos, odores, ocupa pequeno espaço físico para o tratamento dos resíduos, e a liberação de gases ou efluentes, resultantes do processo são facilmente controlados. Nos processos anaeróbios, ou nos sistemas de biodigestão anaeróbia, a degradação da matéria orgânica envolve a atuação de microrganismos procarióticos anaeróbios facultativos e obrigatórios, cujas espécies pertencem ao grupo de bactérias hidrolítico - fermentativas, acetogênicas produtoras de hidrogênio e arqueas metanogênicas (CÔTE *et al.*, 2006; ALVAREZ *et al.*, 2006).

E dentre as desvantagens pode-se citar o custo elevado de implantação, possibilidade de odor desagradável e necessidade de purificação do biogás (ORRICO JÚNIOR *et al.*, 2007; SILVA *et al.*, 2005). Cabendo assim, a busca de alternativas economicamente viáveis, sendo uma das propostas do presente projeto.

3.2.1. Fases da digestão anaeróbica

O processo de fermentação ainda é o mais utilizado por ser mais economicamente viável. Essa vantagem deve-se, principalmente, ao grande número de matérias-primas naturais baratas (açucaradas e amiláceas, principalmente) que podem ser utilizadas (SCHMIDELL *et al.*, 2001). E deve ocorrer na ausência de compostos químicos tóxicos (sabão, detergente); temperatura adequada; presença de matéria orgânica (dejetos); ausência de ar (SEIXAS; MARCHETTI, 1981).

Este processo ocorre em câmaras fechadas, fornecendo ao meio à condição necessária para que os micro-organismos possam digerir a matéria orgânica presente (TARRENTO e MARTINEZ, 2006). E é dividido em quatro estágios: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, pela ação de populações microbianas específicas (STEIL, 2001).

Na primeira fase, hidrólise, a matéria orgânica é transformada em compostos mais simples, que possam ser assimilados pelos microrganismos. Normalmente, os compostos orgânicos são transformados em monômeros, tais como açúcares, ácidos orgânicos, aminoácidos, etc. (LORA, 2012, p. 314).

A segunda fase é a acidogênese tem grande importância, pois é quando o oxigênio dissolvido é removido. Nesse estágio, os produtos da hidrólise são absorvidos pelas bactérias fermentativas e excretados na forma de substâncias orgânicas simples como ácidos graxos voláteis, álcoois, ácido lático e compostos minerais como CO₂, H₂, NH₃, H₂S, etc. (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Na terceira fase a acetogênese, ocorre a formação de ácidos acético e propiônico, com grande geração de hidrogênio e redução do pH (CHERNICHARO, 1997). De todos os produtos produzidos por estes microrganismos, somente o acetato e o H₂ podem ser assimilados pelas bactérias metanogênicas.

E na quarta e última fase a metanogênese, onde ocorre a formação de metano por bactérias metanogênicas acetoclásticas (utilizadoras de acetato) e metanogênicas hidrogeno tróficas (utilizadoras de hidrogênio) (STAMS, 1994). O processo de

degradação do substrato é concluído, o que consiste na transformação dos produtos iniciais em CH₄ e CO₂ (LORA, 2012, p. 314).

3.2.2. *Potencial Bioquímico de Metano – PBM*

O Potencial Bioquímico de Metano (PBM) do fornecimento de matéria-prima e a capacidade de disponibilidade do substrato são dois parâmetros críticos para determinação do valor econômico característico da produção de biogás (DEUBLEIN E STEINHAUSER, 2010). Além das variações nos substratos, também é importante levar em consideração o clima e outras características intrínsecas de cada região em particular, a fim de evitar erros de leitura dos dados.

O PBM é obtido usando uma pequena quantidade de amostra de substrato incubada em condições mesofílicas e na presença de inóculo de um microrganismo anaeróbico. O gás acumulado produzido ao longo do tempo é então medido até atingir o estado estacionário (STEINMETZ, *et al.*, 2016).

A precisão dos dados de PBM é altamente dependente das capacidades metabólicas específicas do inóculo utilizado. Além disso, a atividade metanogênica reduzida do consórcio de microrganismos pode levar a resultados reprodutíveis ruins e subestimação do rendimento de biogás (ANGELIDAKI *et al.*, 2009; LABATUT *et al.*, 2011).

Angelidaki *et al.*, 2009 e Bauer *et al.*, 2008, sugeriram o uso de um inóculo fresco obtido de um reator anaeróbico ativo, ou seja, usinas de biogás de esterco ou mantas de lodo anaeróbico de fluxo ascendente, tratando efluentes domésticos. Os microrganismos obtidos a partir dessas fontes potenciais de inóculo são então pré-incubados por 2 a 5 dias antes dos ensaios de PBM para esgotar qualquer material orgânico biodegradável residual.

Alguns métodos de PBM são baseados no uso de fonte de inóculo obtida de digestores mesofílicos (DIN 38414-8, 1985; ISO 11734, 1995; VDI 4630, 2006).

O único método focado em substratos agrícolas (por exemplo, culturas energéticas) é o método VDI 4630 (2006), que enfatiza o uso de inóculo de digestores operando sob co-digestão de substratos de origem agrícola, em condições mesofílicas (37 -C).

Logo, conforme citado na literatura, a utilização de inóculo pré-incubado pelo período de 2 a 5 dias antes dos ensaios de PBM, a temperaturas mesofílicas favorece ao PBM.

3.3. Metodologias de Avaliação do Potencial Bioquímico de Metano (PBM)

Dentre os métodos citados na literatura podem ser destacados os métodos monométricos e volumétricos.

A. Métodos Manométricos

Baseiam-se na medição da pressão exercida sobre um sensor (membrana transdutora de pressão) acoplado ao frasco de reação (SIMÕES *et al.*, 2020). Em um respirômetro manométrico, o biogás produzido é confinado dentro do biorreator e, portanto, gera sobre pressão proporcional (RAPOSO *et al.*, 2012).

Um dos primeiros métodos manométricos foi o Respirômetro de Warburg (UMBREIT, *et al.*, 1964). Posteriormente, o método foi aprimorado com a introdução do uso de um transdutor de pressão para medir a produção de gás (GLEDHILL, 1979). Para este método, análises complementares de biogás são necessárias para calcular a produção de metano. Recentemente um transdutor de pressão digital, chamado OxiTop® (WTW, Alemanha) e originalmente desenvolvido para medições de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), foi relatado como útil para ensaios de biodegradabilidade anaeróbica (PEREIRA, 2009).

Como é possível através de calibração do sistema, estabelecer uma correlação entre a pressão medida e a quantidade de metano presente dentro do frasco de reação, o registro diário da pressão permite determinar a taxa diária de produção de metano (SIMÕES *et al.*, 2020).

B. Métodos Volumétricos

A primeira descrição de um sistema de medição volumétrica para produção de biogás consistia no deslocamento do pistão de uma seringa de vidro com sua agulha inserida no reator (OWEN, 1979). Alternativamente, foram propostos sistemas de deslocamento de líquidos. Neste caso, o biogás produzido dentro do reator é movido para um recipiente externo adequado que contém uma solução de barreira e desloca um volume

equivalente de líquido. Mais recentemente, o Eudiômetro, foi descrito como um aparelho mais sofisticado que operava por uma técnica de deslocamento de líquido (ISO/DIS 14853).

É importante mencionar que, cuidados devem ser tomados com a solução barreira utilizada para evitar que alguns componentes do biogás sejam perdidos. Para a melhoria deste sistema de medição, é melhor usar uma solução alcalina para lavar o biogás, o que significa que a única fração de metano pode ser medida diretamente (ROZZI e REMIGI, 2004; GUWY, 2004).

Outra opção é coletar o biogás em um saco de amostragem de gás com baixa permeabilidade (PARAWIRA, *et al.*, 2004). Este sistema evita o problema de adsorção durante longos períodos de contato com a solução de barreira, mas tem a desvantagem de exigir um medidor de gás complementar para medir o volume de gás coletado, como por exemplo por cromatografia gasosa.

Diante do exposto, verifica-se que ambos os métodos são utilizados para verificação da conversão anaeróbia da carga orgânica em fluxos gasosos. Que os Métodos Manométricos possuem a vantagem de serem automáticos, portanto, com uma melhor precisão na aquisição dos dados, contudo, com elevado custo para realização. E quanto aos métodos volumétricos, que são mais acessíveis economicamente, porém que necessita normalmente de medidor de gás complementar.

3.4. Método de avaliação da Densidade de Gás do Potencial Bioquímico de Metano (DG-PBM)

O ensaio conhecido como BMP (Biochemical Methane Potential), sendo o Potencial Bioquímico do Metano (PBM), monitora o volume do biogás gerado em uma fração de resíduos, avaliando a capacidade de biodegradação destes através da produção total de CH₄. Os ensaios são monitorados através de medições constantes de pressões e temperaturas internas além da pressão ambiente. Para a realização do teste PBM, são inoculadas amostras contendo uma pequena fração de resíduo sólido, meio de cultura e inóculo (SILVA *et al.*, 2016).

Segundo ESPOSITO *et al.* (2012), em protocolos para teste de PBM, os principais parâmetros que afetam os resultados dos experimentos são temperatura e pH, características físicas e químicas dos substratos, intensidade de agitação e relação inóculo/substrato (I/S).

Métodos experimentais convencionais para medir PBM, como já mencionado, são tipicamente baseados em deslocamento volumétrico em um frasco externo, mantendo a pressão constante, ou medições de acúmulo de pressão dentro de um *headspace* de garrafa com um volume fixo. Esses métodos são conhecidos como volumétricos e manométricos, respectivamente (RAPOSO *et al.*, 2012; FILER, *et al.*, 2019; ROZZI e REMIGI, 2004).

O conteúdo do CH₄, geralmente é medido com um analisador de gás por Cromatógrafo a Gás (CG) ou infravermelho (IR), que exige um investimento financeiro significativo para aquisição, manutenção e padrões de calibração, bem como habilidades técnicas especializadas para medições precisas. A remoção de dióxido de carbono (CO) e a medição do volume residual de CH₄ é uma alternativa, mas as abordagens manuais são demoradas e introduzem erros adicionais, bem como custos de produtos químicos e manuseio (PHAM, *et al.*, 2013).

Os sistemas automatizados que incluem a remoção de CO₂ pela lavagem do biogás através de uma solução alcalina parecem ter um bom desempenho (WANG, *et al.*, 2014; HOLLIGER, *et al.*, 2017) contudo, o custo de um sistema automatizado é elevado para muitos laboratórios e usinas de biogás, desse modo, limitando a pesquisa e a aplicação de tais métodos.

Nesse contexto, Justesen, *et al.* (2019), desenvolveram um novo método para medição do PBM que se baseia na medição da Densidade de Gás (DG) para estimar a quantidade de CH₄ no biogás. Tal metodologia, baseia-se na perda de massa devido à ventilação de biogás em frascos de laboratório e o volume de biogás ventilado é medido como no método volumétrico existente.

A principal vantagem do método DG-PBM, é que ele requer apenas equipamentos de laboratório simples, baratos e comuns, incluindo uma balança de laboratório e equipamentos para medição do volume de biogás. Ele elimina a necessidade de um cromatógrafo a gás ou outro instrumento de análise de gás para medição de PBM. Logo, sendo uma alternativa para realização experimentos e pesquisas de biodigestão anaeróbica na Universidade Federal do Amazonas (UFAM), onde não há equipamentos específicos para medição de gases, o que pode corroborar com novos trabalhos relacionados ao tema, sem maiores custos.

3.5. Biogás

Um dos produtos do processo de biodigestão anaeróbica é o biogás, que é uma mistura de gases com predominância de CH₄ e CO₂ (LORA, 2012, p. 328). A composição do biogás gerado no processo de degradação anaeróbia varia conforme as características do resíduo, as condições de operação do biodigestor e do tipo de biodigestor empregado (HEYDT, 2015). Segundo Souza (2010), o biogás apresenta uma composição média de 60% a 80% de metano (CH₄/v), 20% a 40% de dióxido de carbono (CO₂/v), além de apresentar sulfetos, nitrogênio, monóxido de carbono e hidrogênio em menores concentrações, conforme pode ser observado no quadro abaixo:

Tabela 1. Características do biogás.

Parâmetro	Indicador
PCI	23 MJ/kg
Densidade	1,2 kg/nm ³
Metano	50 – 70% vol
Hidrogênio	0% vol
Monóxido de Carbono	0% vol
Dióxido de Carbono	30 – 47% vol
Nitrogênio	0,2% vol
Oxigênio	0% vol
Sulfeto de Hidrogênio	0 – 10.000 ppm
Amônia	< 100 ppm

Fonte: Adaptado de Canever, 2017.

O potencial energético do biogás está diretamente relacionado com a quantidade de metano presente, o que irá determinar o seu valor energético. Paralelamente a biodigestão pode reduzir o potencial poluente das emissões de resíduos orgânicos com alto teor de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), e ao mesmo tempo, produzir metano e gerar como resíduos do processo, um adubo orgânico (SALOMON; LORA, 2009).

A pureza do biogás, de acordo com Rego e Hernandez (2006), é avaliada pela presença do metano. Quanto maior o percentual de metano, mais puro é considerado o biogás, logo, seu poder calorífico está diretamente relacionado com a quantidade de

metano existente na mistura gasosa. Sendo este, um gás incolor, altamente combustível, com queima com chama azul lilás, sem deixar fuligem e com um mínimo de poluição.

Para Deganutti *et al.* (2002), em função da porcentagem com que o metano participa na composição do biogás, o Poder Calorífico Inferior (PCI), pode variar de 5.000 a 7.000 kcal/m³. Esse PCI pode chegar a 12.000 kcal/ m³, uma vez eliminado todo o gás carbônico da mistura. Nesse sentido, a equivalência energética do biogás em relação a outros combustíveis é determinada levando em conta o poder calorífico e a eficiência média de combustão, na Tabela 2 pode ser observada a equivalência do m³ de biometano em relação a outras fontes energéticas.

Tabela 2. Equivalência entre 1 m³ de biometano e outros energéticos.

Energético	Ferraz e Marriel (1980)	Moraes et al. (2014)
Gasolina (L)	0,61 m ³	0,61 m ³
Querosene (L)	0,58 m ³	-
Óleo Diesel (L)	0,55 m ³	0,55 m ³
GLP (L)	0,45 m ³	-
Etanol (L)	-	0,79 m ³

Fonte: Adaptado pela Autora, 2022.

A quantidade e a disponibilidade de certos nutrientes são essenciais para garantir crescimento microbiano e, dessa forma, maximizar a degradação da matéria orgânica. Segundo Orrico Junior *et al.* (2010), a presença de maiores proporções de **carboidratos solúveis em relação aos carboidratos fibrosos** leva ao aumento da degradação da matéria orgânica em meio anaeróbio e conseqüentemente elevam as produções de biogás e metano.

O uso de biodigestores na cadeia de produção animal é visto como uma importante ferramenta, pois, além de promover o tratamento dos resíduos, retorna ao sistema produtivo parte da energia que seria perdida, por meio do biogás (SILVA *et al.*, 2005; ORRICO *et al.*, 2007; SANTOS *et al.*, 2007).

Nos dejetos de aves de postura, há uma predominância de carboidratos solúveis, o que, em condições anaeróbias, seria benéfico ao processo de biodigestão, no entanto, ao entrar em contato com o meio, após a excreção pelo animal, inicia-se a oxidação dos seus constituintes, sendo os carboidratos e proteínas solúveis os mais degradados (ORRICO JUNIOR *et al.*, 2010). Com isso, se fazem necessários estudos que realizem o

tratamento desses dejetos de maneira equilibrar esse processo de oxidação e tornar viável seu uso para produção energia.

A quantidade de dejetos produzidos varia com o peso vivo dos animais e a água ingerida vai influenciar a produção de urina, variando a quantidade de dejetos líquidos. A tabela 3, mostra a relação entre a quantidade de rejeitos necessários para a produção de 1m³ de biogás, evidenciando o maior rendimento da excreta de galinha, uma vez que necessita de menor quantidade de esterco seco para gerar 1m³ biogás.

Tabela 3. Quantidade de rejeitos necessários para a produção de 1m³ de biogás

Matéria-prima	Quantidade
Esterco fresco bovino	25 kg/m ³
Excreta seca de galinha	2,3 kg/m ³
Resíduos secos de vegetais	2,5, kg/m ³
Esterco seco de suíno	2,86 kg/m ³

Fonte: CASTAÑON, 2002.

3.5.1. *Biofertilizantes*

Os processos anaeróbios são amplamente difundidos em todo o mundo no setor de tratamento de efluentes, devido às suas vantagens, que são: baixa energia requerida, fácil operação dos reatores, baixa produção de lodo, produção de biogás/biometano além da geração de biofertilizantes com reconhecida qualidade para agricultura (WANG *et al.*, 2017).

O biofertilizante consiste no resíduo gerado no processo de biodigestão. Ele é estável e pode ser diluído em água para ser usado diretamente nas lavouras (fertirrigação) como fertilizante do solo (NASCIMENTO, 2011) ou passar por processos de secagem/compostagem para ser guardado ou vendido na forma sólida, gerando fonte de renda, agregando valor ao negócio, tornando a atividade um modelo de produção sustentável (DORNELAS *et al.*, 2017).

Na maioria das propriedades rurais brasileiras, a destinação final dos dejetos ricos em matéria orgânica e agentes patogênicos ocorre em corpos hídricos ou esterqueiras. E nesses sistemas de armazenamento de dejetos de animais para posterior utilização como adubo orgânico não há promoção de uma boa estabilização dos resíduos, uma vez que

armazenar não significa tratamento. Sendo importante frisar outro ponto negativo, que é o desperdício do biogás produzido, pois não há uma forma de coleta deste gás.

Assim, a biodigestão anaeróbica é uma alternativa que permite a redução do potencial poluidor e dos riscos sanitários dos dejetos ao mínimo, que promove a geração do biogás, utilizado como fonte de energia alternativa e permite a reciclagem do efluente em biofertilizante (FERNANDES *et al.*, 2014; ALBUQUERQUE *et al.*, 2012).

Atualmente diversos trabalhos vem relatando o efeito benéfico da aplicação dos resíduos da biodigestão como biofertilizante em substituição ao fertilizante convencional (DIAS *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2014; SILVA *et al.*, 2012). Em geral, esses adubos orgânicos apresentam alto teor de nitrogênio, fósforo, potássio e demais nutrientes em consequência da perda de carbono, diminuindo a relação C/N da matéria orgânica e melhorando as condições do material como fertilizante natural (ARRUDA *et al.*, 2002).

Matos *et al.* (2015), realizou a avaliação do efeito dos biofertilizantes provenientes de avicultura de postura, aplicado no solo e sorgo, identificando que sua aplicação como adubo orgânico contribuiu para o aumento da fertilidade do solo no que tange os teores de Ca, Mg e K e, como consequência, redução dos custos de produção.

É importante frisar que, para aplicação de biofertilizantes deve-se seguir recomendações de monitoramento do solo conforme Legislação, assim devendo ser consultada a Resolução 420 do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, de 28 de dezembro de 2009, a qual dispõe sobre critérios e valores orientadores da qualidade do solo em função da presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

E ainda quanto recomendações estabelecidas em relação a águas subterrâneas, conforme Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005, alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e a Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008, que dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas.

Logo, evidencia-se que, a aplicação de adubo de aves no solo, gera efeitos positivos, contudo se feito seu tratamento de maneira correta, sendo uma alternativa viável através da biodigestão anaeróbica.

3.6. Avicultura de Postura

O sistema da avicultura de postura é caracterizado pela produção de ovos a partir do confinamento de aves especificamente selecionadas para esse fim em ambientes controlados. Atualmente, utiliza-se de 2 sistemas de produção, sendo convencional e automatizado. O principal é o “convencional”, que se caracteriza pela disposição das galinhas poedeiras em gaiolas suspensas, no máximo em 3 níveis. Esse sistema facilita o manejo das aves e reduz perdas com ovos quebrados, sujos, além de eliminar a necessidade da “cama de frango”, material utilizado para forrar o piso das gaiolas. Esta forração é composta de palha ou feno e os dejetos das aves, que apesar de servir de adubo ou alimentação para bovinos, apresenta custo para a produção (DELGADO *et al.*, 2016).

O sistema de produção de ovos predominante no Brasil é o intensivo, com gaiolas convencionais em galpões abertos, principalmente nas granjas verticalizadas. (ROCHA; LARA; BAIÃO, 2008).

E conforme indicadores do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2021), no 4º trimestre o Brasil, produziu 977,6 milhões de dúzias de ovos de galinha. Sendo, o Estado de São Paulo o maior produtor, responsável por 27,5%, e o Estado do Amazonas, ocupando a 13ª posição com uma produção de 15,2% em relação a produção nacional.

Os dejetos provenientes desse tipo de produção são denominados de excretas. Os quais são excrementos de **galinhas poedeiras** que se acumulam durante a fase de produção de ovos ou durante os períodos de desenvolvimento deste tipo de aves, misturados com restos de comida e penas. A mistura com materiais de cama pode ou não ser considerada. Diferente das excretas de **aves de engorda (carne)**, que são resultantes do que é despejado desde o início até a venda para o mercado, misturadas com restos de ração, penas e materiais utilizados como cama (RODRIGUEZ, *et al.*, 2020).

Assim, a excreta de galinha é a mistura de fezes e urina obtida de galinhas ou galinhas engaioladas, à qual se adiciona a porção não digerível do alimento, células de descamação da mucosa do aparelho digestivo, produtos de secreção das glândulas, microrganismos da biota intestinal, vários sais minerais, penas e uma pequena porcentagem de material estranho (AREVALO *et al.*, 2018).

Uma vez que, manejados de forma adequada, estes dejetos oferecem risco mínimo para o meio ambiente, porém se esse manejo for mal executado, apresenta uma séria ameaça, pois este material se decompõe rapidamente, podendo ocasionar a contaminação do ar, solo e dos recursos hídricos. Sendo assim, a legislação tem se tornado cada vez

mais rigorosa, quanto aos parâmetros de manejo, sempre visando à proteção ambiental e da saúde humana (SILVA E PELÍCIA, 2012).

A quantidade de excreta por uma galinha poedeira é estimada em aproximadamente de 120g por dia (BOLAN *et al.*, 2010). Considerando-se que a ave excreta cerca de 30% do que consome, têm-se uma produção anual de 13,40 kg de dejetos por ave. Com base nisso, conforme CASTAÑON (2002), cada ave pode chegar a produzir aproximadamente 5,82m³/ano de biogás.

3.7. Características e potencial de produção de biogás da excreta da avicultura de postura.

A excreta é considerada uma valiosa fonte de nutrientes para as culturas e pode melhorar a produtividade do solo (SAKAR *et al.*, 2009), em tal resíduo, também pode ser encontrado: penas, ovos quebrados, restos de ração e larvas de moscas (OLIVEIRA, 1991).

O teor de nutrientes presentes nos dejetos depende de diversos fatores como sistema de produção, manejo, idade das aves, instalações, nutrição, clima e dentre outros (AUGUSTO, 2005).

Embora nos dias de hoje, já sejam implantados sistemas de avicultura de postura com a utilização de camas para redução de problemas com mau cheiro e proliferação de vetores, além das excretas, pode ser encontrado nesse resíduo: penas, ovos quebrados, restos de ração e larvas de moscas (OLIVEIRA, 1991).

Para Kiehl (1985), a excreta das aves é considerada o resíduo mais rico em nutrientes do que de outros animais domésticos, pois contém uma mistura de dejeções sólidas e líquidas e provém de aves criadas, na maioria das vezes, com rações concentradas. O que pode apresentar uma concentração de nutrientes duas a três vezes maior do que o esterco dos mamíferos.

Devido ao alto teor de nitrogênio no esterco das aves, ele pode chegar a queimar plantações se não for devidamente tratado antes de ser inserido no solo como adubo, (AUGUSTO, 2005). Vale ressaltar que na excreta de galinha são encontrados todos os 13 dos nutrientes essenciais que são utilizados pelas plantas, sendo eles nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), cloro (Cl), boro (B), ferro (Fe), e molibdênio (Mo) (CHASTAIN *et al.*, 2004).

Conforme Augusto (2007), os nutrientes encontrados nos dejetos, correspondem a parte dos nutrientes não absorvidos pelas aves, como proteínas. Entretanto, os dejetos também apresentam bactérias do grupo coliforme, que se forem depositados diretamente no solo podem representar uma fonte de microrganismos potencialmente patogênicos aos animais e aos humanos, e com a ação das chuvas podem contaminar lençóis freáticos.

Dessa forma, pode-se inferir que o resíduo de aves poedeiras é rico para ser utilizado como fertilizante de solos, mas requer cuidados, principalmente quanto a legislação conforme padrões estabelecidos, contudo, podendo ser utilizado para outro fim, como produção de energia, por apresentar um potencial médio de produção de biogás de 0,12 m³/kg de excreta “*in natura*”, quando submetidos à digestão anaeróbica em biodigestores na forma de batelada (CAETANO, 1991).

3.8. Biodigestão anaeróbica na avicultura

A presença de biodigestores no espaço rural além de dar um destino adequado aos dejetos da pecuária, evita emissões de metano, a contaminação dos recursos naturais e ainda, auxilia na renda dos agricultores devido a geração de produtos como o biofertilizantes (MARIN, BLEY e GONZALEZ, 2016).

Segundo Carvalho *et al.* (2017), a instalação de biodigestores em propriedades de pequenos agricultores incentiva a sustentabilidade, podendo fazer uso de energias renováveis, biofertilizantes e ainda fazer uma correta destinação dos resíduos gerados pela atividade agrícola. Estando em acordo com a **Economia Circular**, que assenta na redução, reutilização, recuperação e reciclagem de materiais e energia.

Um dos fatores importantes observados para a área de saneamento ambiental, é que com o processo de biodigestão anaeróbia têm sido obtidos resultados que demonstram a redução de impacto não somente pela redução dos sólidos presentes nos biodigestores, mas também pela redução de microrganismos de presença indesejável nos efluentes por apresentarem caráter patogênico (LUCAS JÚNIOR, 2000).

Trabalhando em escala piloto para produção de biogás, Yao *et al.* (1989), utilizaram excreta de frangos em dois biodigestores com 3,5 m³ cada um. O líquido após peneiramento era fermentado observando-se que, para uma taxa de carregamento de 10 kg de Demanda Química de Oxigênio (DQO) por m³ de biodigestor, obteve-se uma produção de biogás de 3,57 m³ de biogás por m³ de biodigestor com 65,4% de metano. A

redução de DQO foi de 80,07% e o efluente era usado como fertilizante e o biogás para cozimento para 18 famílias.

Já segundo Lucas Júnior *et al.* (1998) que avaliaram o desempenho de biodigestores contínuos modelos e indiano, quando operados com cargas diárias constituídas de dejetos de galinhas de postura e água, sob quatro tempos de retenção hidráulica (20, 25, 30, 40 dias), verificaram que existe a possibilidade de se reduzir até 82,4% nos teores de sólidos voláteis (SV) com a utilização de TRH igual a 40 dias, podendo as produções de biogás atingirem 0,5799 m³ por kg e SV adicionados nos biodigestores (TRH igual a 30 dias), conforme pode ser observado na tabela 4.

Tabela 4. Potenciais médios de produção de biogás, corrigidos para 20°C e 1 atm.

Potenciais					
TRH (dias)	Substrato (m ³ /kg)	ST adic (m ³ /kg)	SV adic. (m ³ /kg)	Dejeto (m ³ /kg)	m ³ /m ³ /de biodigestor
40	0,0316 ^a	0,3721 ^a	0,5248 ^b	0,1007 ^a	0,7889 ^c
30	0,0282 ^b	0,3575 ^b	0,05799^a	0,0911 ^b	0,9414 ^b
25	0,0261 ^c	0,3105 ^c	0,4325 ^c	0,0836 ^c	1,0445 ^a
20	0,0212 ^d	0,245 ^d	0,3961 ^d	0,0676 ^d	1,0598 ^a

Fonte: Em cada coluna médias seguidas de letra comum, não diferem pelo teste de Tukey a 5%; Lucas JR. & Santos (1998).

As maiores produções volumétricas de biogás foram atingidas com tempos de retenção hidráulica iguais a 20 e 25 dias, porém, com menor eficiência na utilização do substrato (Tabela 3). Com o objetivo de produção de biogás, sem preocupação com a qualidade do efluente, pode-se adotar TRH de 20 dias, porém, deseja-se melhor qualidade do efluente, não deverão ser adotados TRH inferiores a 30 dias (Tabelas 5).

Tabela 5. Produção média diária de biogás, em m³, desvio padrão, coeficiente de variação e produção total de biogás, em m³, para os quatro TRH.

Parâmetro	Tempo de retenção hidráulica (dias)			
	40	30	25	20
Produção média diária (m ³)				
Produção média diária (m ³)	0,04734 ^c	0,05649 ^b	0,06267 ^a	0,06359 ^a
Desvio Padrão	0,00738	0,00739	0,00865	0,01188
CV (%)	15,59	13,08	13,81	18,68
Produção total – 30 dias (m³)	1,42009^c	1,69458^b	1,88017^a	1,90763^a

Fonte: Em cada linha médias seguidas de letra comum, não diferem pelo teste de Tukey a 5%. Lucas JR. & Santos (1998).

A produção de biogás pode ser aumentada com a adição de inóculo nos biodigestores. Este que consiste em utilizar parte do material que já passou pelo processo, capaz de fornecer ao novo substrato uma população adicional de micro-organismos típicos da biodigestão anaeróbica (XAVIER e LUCAS JÚNIOR, 2010).

3.9. Codigestão e sua influência da produção de biogás.

Para Rajendran *et al.* (2012) a codigestão influencia vários parâmetros que incluem, entre outros, o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH), o rendimento do metano e a estabilidade do processo. Corroborando com Astals *et al.* (2011), em que cita que a codigestão, resulta em uma melhor eficiência da digestão, atingindo elevada produção de biogás.

Basicamente, os materiais ricos em carbono são de origem vegetal enquanto os ricos em nitrogênio são de dejetos e outros efluentes de atividades pecuárias. A proporção C/N do esterco de animais varia entre 15:1 a 29:1, sendo segundo Silva (1987), uma relação satisfatória para a maioria dos biodigestores, mas que pode ser otimizada para a produção de biogás com a adição de palha seca.

Para Matos *et al.* (1998), a biodigestão funciona melhor com a adição de materiais **palhosos**, provenientes de outras culturas comuns que possam existir em uma pequena propriedade, tais que deem uma relação C/N próximo a 30:1.

Informação esta que corrobora com Sosnowski *et al.* (2003) e Alqaralleh *et al.* (2017), em que descrevem que matérias-primas que possuem taxas C/N mais altas (> 50), como palhas de arroz e trigo, caules de milho e algas, que podem ser codigeridas pelas matérias-primas de taxas C/N mais baixas, como estrume de porco, **excreta de aves**, e resíduos de alimentos e de cozinha, para alcançar o equilíbrio de nutrientes e evitar a inibição do sistema e à produção reduzida de biogás como resultado de uma relação C/N inadequada. Em resumo, pode ser observado na tabela 6 estudos de biodigestão anaeróbica com substrato vegetal e de aves, e seu desempenho em relação ao aumento na produção de metano.

Tabela 6. Estudos de biodigestão anaeróbica com substrato vegetal e de aves.

Autores	Substrato	Co-substrato	Inóculo	Tratamento	Resultado na produção de metano (CH₄)/ biogás
Ibrahim <i>et al</i>, 2017	Bagaço da cana-de-açúcar	-	Excreta de aves	4% de NaOH	Aumento em 1,49x10 ⁻⁴ mmol.
Shan-Fei Fu <i>et al</i>, 2018	Palha de milho	Excreta de galinha	Lodo hemofílico	CaO ₂	Aumento de 4,8% e aceleração na remoção de tetraciclina (antibiótico encontrado no esterco de gado).
Karaeva <i>et al</i>, 2019	Excreta de aves	Plantas da família <i>Amaranthus retroflexus L</i>	-	-	Aumento de 9% na produção total de biogás.

Fonte: Adaptado por Alencar, 2022.

Diante do exposto, é evidente que a codigestão de resíduo como fonte de carbono, de maneira a manter o equilíbrio do processo, favorece a uma maior produção de biogás com qualidade em experimentos de biodigestão anaeróbica que utilizem excretas provenientes de aves poedeiras.

Nesse sentido, de maneira a se aproveitar resíduos descartados diariamente em feiras e municípios dos interiores do Estado do Amazonas, o presente trabalho visa utilizar como substrato o resíduo do despulpamento do Tucumã (casca de tucumã), fruto muito consumido na Região.

3.10. Substrato Vegetal.

O Tucumã (*Astrocaryum aculeatum*) é muito apreciado pela população local, sendo utilizado para compor sanduíches, tapiocas, elaboração de sorvetes, bolos, tortas, gerando grandes quantidades de resíduos e de fácil coleta.

É excepcionalmente tolerante a solos pobres e degradados, e resiste a períodos de seca. É normalmente encontrado em florestas secundárias, e possui certa resistência a queimadas. Crescem cerca de 50 árvores por hectare (LIRA 2012) e é comumente encontrado na Amazônia central, mas também se espalha por toda a região amazônica, Guiana, Peru, Colômbia (FAO, 1986).

Segundo Miller *et al.* (2013), o farelo do resíduo de tucumã apresenta-se como um ingrediente rico em extrato etéreo, percentual significativo de fibra bruta e proteína bruta bem similar ao encontrado no milho de boa qualidade.

E conforme Santos (2017), em análise elementar a torta de tucumã possui 46,52% (C), 45,37 % (O) e 2,10 (N). Possuindo características que podem corroborar com o processo biodigestão anaeróbica.

A comercialização anual do tucumã nas feiras e mercados de Manaus/AM, é de 367,8 toneladas (DIDONET e FERRAZ, 2014), e como consequência, é despejado um grande percentual de subprodutos oriundos do despulpamento do fruto, dentre eles a casca de tucumã.

Desta forma, estudos sobre o uso da casca de tucumã como substrato na produção de biogás, com a utilização de resíduos da agroindústria, pode favorecer tanto no quesito produtivo como ambiental.

3.11. Produção avícola no Estado do Amazonas

Conforme Cruz (2016), em um estudo realizado pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM), o seguimento da avicultura de postura é expressivo no Estado, podendo ser amplamente associada à imigração japonesa na região, que inicialmente visava apenas servir de auxílio aos setores de horticultura e fruticultura através da produção de esterco orgânico, mas devido ao crescimento populacional na região, com a implantação do Polo Industrial de Manaus/AM, a demanda por alimentos levou o setor a direcionar seu foco à produção de ovos, principalmente por sua composição nutricional ser completa e rica em proteína (CRUZ, 2011), a um preço acessível capaz de atender as camadas de menor renda.

Porém, mesmo possuindo uma expressiva produção de ovos no Amazonas, alcançando 12.417/mil/ dúzias no primeiro trimestre de 2022, em comparação com outros Estados como São Paulo, que produziu 264.410 mil/ dúzias e Paraná com 90.065 mil/ dúzias, referente ao mesmo período do ano de 2022, conforme Censo agropecuário do IBGE (2022), o Amazonas ocupa a 13^o posição nacionalmente.

Entre os municípios amazonenses, Manaus é o principal produtor de ovos com 50.100 mil dúzias, e valor de produção de R\$ 200,4 milhões, seguido por Iranduba (R\$ 55,38 milhões), Manacapuru (R\$ 34,41 milhões), Rio Preto da Eva (R\$ 6,54 milhões) e Itacoatiara (R\$ 5 milhões). Todos registraram altas, com destaque para a capital, onde a produção subiu 41,37% (IBGE, 2021).

A mesma base de dados do IBGE, no que se refere a quantidade de galinhas, passou de 3,6 milhões de cabeças, em 2020, para chegar aos 3,8 milhões, em 2021, no

Amazonas o que inclui ainda os municípios de Iranduba, Manacapuru, Itacoatiara e Rio Preto da Eva.

Considerando que a produção anual de dejetos por ave é cerca de 12kg (MAFACIOLLI, 2012), estima-se que neste mesmo ano, o Estado produziu cerca de 43,2t de dejetos, sendo destinado principalmente a venda como adubo. Desse modo, é oportuno que sejam estudadas inovações tecnológicas para mitigar os impactos causados por essa atividade na região, possuindo como alternativa, a implantação de biodigestores que, além de não concorrer com a atual destinação do resíduo, elimina os inconvenientes discutidos e ainda contribui na produção de energia e biofertilizante.

Entretanto, para o Amazonas não foram encontrados na literatura estudos referentes a este tema em específico. A difusão desta tecnologia será uma ferramenta fundamental para otimizar a produção avícola na Região. Valendo ressaltar, que as temperaturas favoráveis ao processo, são em média acima de 25°C (SOUZA *et al.*, 2014), o que é comum na Região Amazônica.

4. MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho executou a metodologia desenvolvida por Justesen, *et al.* (2019) a qual através da Densidade de Gás (DG) é possível realizar a medição do Potencial Bioquímico de Metano (PBM) produzido, utilizando como inóculo a excreta de aves poedeiras e como substrato a casca de tucumã. Para isso, foram realizadas análises e experimentos em escala laboratorial com amostras dos produtos em diferentes proporções de maneira a identificar seus PBM.

4.1. Local do Experimento e Análises

O experimento foi desenvolvido na Universidade Federal do Amazonas – UFAM, no Laboratório de Pesquisas e Ensaio de Combustíveis – LAPEC/UFAM e as análises laboratoriais, no Laboratório de Processos de Separação – LABPROS/FCA-UFAM.

4.2. Coleta dos Resíduos

O inóculo (excretas de aves), foi coletado em uma propriedade de avicultura de postura, Granja Sakamoto, situada no Km 09, da Rodovia AM-070, Município de Iranduba/AM (Figura 03).



Figura 3. Granja de avicultura de postura, onde foi realizada coleta das excretas. Fonte: Alencar, 2020.

Foram realizadas duas coletas seguidas, com intervalos de 24h, de maneira a prevenir a proliferação de lavas e/ou contaminação por outros agentes. As tentativas, deram-se em razão da necessidade de o material não poder vir misturado com areia, assim houve sucessivas tentativas para coleta sem que este, fosse retirado diretamente do chão, desse modo, foram usados tanto sacos de fibra como folhas de bananeira para coleta do material. Sendo coletado no total 6,86 kg de excretas frescas.

Em seguida, o material foi levado diretamente para o LABPROS/ FCA-UFAM, para análises iniciais e armazenamento do restante em *freezer* para posterior utilização no experimento de biodigestão anaeróbia.

Já o substrato (casca de tucumã) subproduto do despulpamento do fruto, sem a semente, foi coletado na Feira Municipal Manaus Moderna, situada no bairro Centro da Capital do Amazonas, totalizando 15 kg de material, o qual também foi armazenado em *freezer* para análises e posterior utilização no experimento da pesquisa.

4.3. Caracterização do Material Utilizado

Para caracterização dos materiais utilizados como substrato e inóculo, foram realizadas análises iniciais para determinação de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF), conforme Apha (2014). Sendo realizadas ainda, análises para

determinação de proteína bruta (PB) e fibras, através dos métodos Método INCT-CA N-001/1, INCT-CA F-002/1 e INCT-CA F-004/1, respectivamente.

Parte do material coletado foi enviado ao Estado de São Paulo para o Laboratório da Central Analítica do Instituto de Química da Universidade de São Paulo – IQUSP, de modo a realizar-se análise elementar com a caracterização da quantidade de Carbono (C), Nitrogênio (N) e Hidrogênio (H), esta que foi feita, através do analisador Elemental Analyzer 2400 CHN Perkin-Elmer Series II – USA.

4.3.1. *Sólidos totais (ST), Sólidos Voláteis (SV) e Sólidos Fixos (SF)*

Para determinação de ST do inóculo e substrato, as amostras foram acondicionadas em cadinhos de porcelana previamente tarados, pesados para determinação do peso úmido da matéria e em seguida levados à estufa com circulação forçada de ar, à uma temperatura de 105°C até atingir o peso constante em seguida, resfriadas em dessecador e pesadas em balança com precisão de 0,01g, para a determinação de peso seco. O teor de ST, foi determinado seguindo a metodologia descrita por Apha (2014) e os cálculos realizados conforme equação 01.

$$\text{Equação 01.} \quad \% \text{ ST} = \frac{(A - B) \times 100}{C - B}$$

Onde:

%ST= Teor se sólidos totais em porcentagem;

A= peso do resíduo seco +cadinho;

B= Peso do cadinho;

C= Peso da amostra úmida + cadinho.

Após a determinação de ST das amostras, foi identificado o teor de SV, portanto, realizando-se a pesagem dos cadinhos de porcelana e levados a mufla à uma temperatura de 550°C, após o resfriamento no dessecador, a matéria foi pesada em balança, obtendo-se a pesagem das cinzas, sendo estas o teor de SF. O teor de SV foi determinado conforme a metodologia descrita por Apha (2014) e e os cálculos realizados conforme equação 02.

$$\text{Equação 02.} \quad \% \text{ SV} = \frac{(A - D) \times 100}{A - B}$$

Onde:

%SV= Teor se sólidos voláteis em porcentagem;

A= peso do resíduo seco +cadinho;

B= Peso do cadinho;

D= peso do resíduo + cadinho após a ignição



Figura 4. Amostras em cadinhos para análises iniciais. Fonte: Alencar, 2020.

4.4. Análises físico-químicas

A análise elementar das amostras para determinação de Carbono (C), Hidrogênio (H), e Nitrogênio (N), foi realizada no pelo IQ-USP. Em que foi utilizado o analisador elementar, Elemental Analyzer 2400 CHN Perkin-Elmer Series II – USA, procedendo com a pesagem de em torno de 1mg da amostra numa balança analítica de 6 casas decimais, Perkin Elmer Modelo AD6 USA, dentro de uma cápsula de estanho, em seguida foi introduzida no equipamento onde, ocorre combustão a 925°C, em presença de oxigênio puro.

Todo carbono passa para a forma de CO₂, o hidrogênio para a forma de H₂O e o nitrogênio forma vários óxidos (N_xO_x) que, ao passar por uma coluna contendo cobre metálico a 640°C, é reduzido para N₂. A precisão do equipamento é de +/- 0,3% para C, H e N. Os gases resultantes, (CO₂, H₂O e N₂), são arrastados pelo gás hélio puro com 99,9999% de pureza, fornecida pela Air Products, homogeneizados e posteriormente separados através de colunas específicas (empacotadas com sílica) e detectados por um detector de condutividade térmica (TCD) Perkin Elmer USA 2011.

Em seguida foram realizados os cálculos de porcentagem de C, H e N, os quais tendo por base a porcentagem de padrões analíticos.

Já as análises de proteínas e fibras presentes nas amostras, foram realizadas no Laboratório de Forragicultura e Pastagens da FCA/UFAM. Sendo utilizado o Método INCT-CA N-001/1 para análise de proteína, conforme Detmann (2012).

O cálculo de concentração de nitrogênio utilizado foi conforme pode ser observado abaixo na equação 03:

$$\text{Equação 03.} \quad \%N_{ASA} = \frac{(V - B) \times Nv \times 14 \times 100}{ASA}$$

Onde:

$\%N_{ASA}$ = Percentual de nitrogênio com base na amostra seca ao ar;

V = Volume da solução de ácido clorídrico utilizado na titulação (mL);

B = Volume de ácido clorídrico utilizado na titulação do ‘branco’ (mL);

Nv = Normalidade verdadeira do ácido clorídrico;

ASA = Massa de amostra seca ao ar (mg).

Em seguida realizou-se à correção da amostra para umidade residual e a conversão em equivalentes proteicos (Equações 04 e 05):

$$\text{Equação 04.} \quad \%N_{MS} = \frac{\%N\%N_{ASA}}{\%ASE} \times 100$$

$$\text{Equação 05.} \quad \%PB_{MS} = \%N_{MS} \times fc$$

Onde:

$\%N_{MS}$ = Percentual de nitrogênio com base na matéria seca;

$\%ASE$ = Percentual de “Amostra seca em estufa”;

$\%PB_{MS}$ = Percentual de proteína bruta com base na matéria seca;

fc = Fator de conversão da concentração de nitrogênio em equivalentes proteicos.

N_{ASA} = Nitrogênio na amostra seca.

Para análise de fibras, Fibra em Detergente Neutro (FDN) e Fibra em Detergente Ácido (FDA), foram realizados os métodos com autoclave, sendo respectivamente, INCT-CA F-002/1 e INCT-CA F-004/1, conforme Detmann (2012).

A avaliação de FDA é realizada sequentemente à FDN e os cálculos de concentração de FDN e FDA utilizados foram conforme pode ser observado abaixo nas equações 06 a 11:

$$\text{Equação 06.} \quad FDN = (saco + FDN) - saco$$

$$\text{Equação 07.} \quad \%FDN_{ASA} = \frac{FDN}{ASA} \times 100$$

$$\text{Equação 08.} \quad \%FDN_{MS} = \frac{\%FDN_{ASA}}{\%ASE} \times 100$$

$$\text{Equação 09.} \quad FDA = (saco + FDA) - saco$$

$$\text{Equação 10.} \quad \%FDA_{ASA} = \frac{FDA}{ASA} \times 100$$

$$\text{Equação 11.} \quad \%FDA_{MS} = \frac{\%FDA_{ASA}}{\%ASE} \times 100$$

Onde:

FDN = Massa de fibra em detergente neutro (g);

$\%FDN_{ASA}$ = Percentual de fibra em detergente neutro com base na amostra seca ao ar;

ASA = Massa de amostra seca ao ar (g);

FDA = Massa de fibra em detergente ácido (g);

$\%FDA_{ASA}$ = Percentual de fibra em detergente ácido com base na amostra seca ao ar

saco = Massa do saco utilizado (g)

$\%FDN_{MS}$ = Percentual de fibra em detergente neutro com base na matéria seca

$\%FDA_{MS}$ = Percentual de fibra em detergente ácido com base na matéria seca;

%ASE = Percentual de amostra seca em estufa.

4.5. Método Experimental

4.5.1. Preparação do Inóculo

Para o processo de ativação do inóculo, foi utilizado um reator laboratorial (frasco de reação), no qual a temperatura de ativação foi mantida por meio da circulação externa de água a $37 \pm 2^\circ\text{C}$, proveniente do equipamento de banho termostático, e bombeada para o reator por meio de uma bomba de aquário, modelo Sobo WP-3500, conforme pode ser observado na Figura 05 abaixo:



Figura 5. Reator laboratorial. Fonte: Alencar, 2022.

A agitação do inóculo foi promovida pelo agitador mecânico modelo Fisatom 713D, com rotação definida em aproximadamente 640 RPM. Para o controle de agitação utilizou-se um temporizador digital modelo Enerbras TM-ED/P, programado para acionar o agitador por 15 (quinze) minutos, a cada 02 (duas) horas (Figura 06).



Figura 6. Agitador mecânico. Fonte: Alencar, 2023.

No interior do reator foram adicionadas 250g de excreta de galinha diluídas em 500ml de água. Essa mistura permaneceu sob as condições de agitação e temperatura do reator por um período de 04 (quatro) dias, visando assim a ativação microbiana no inóculo, de acordo com tempo médio de pré-incubação recomendado por Angelidaki *et al.* (2009) e Bauer *et al.* (2008).

4.5.2. *Montagem do sistema de biodigestão anaeróbica*

Para o processo de biodigestão anaeróbia, utilizou-se reatores de frascos de vidro de 500ml com tampa. Nas tampas, foram fixados e vedados, com adesivo de massa epóxi e silicone, registros de três vias e mangueiras de silicone, as mesmas utilizadas para aplicação de soro. Em cada mangueira, na parte interior do frasco, foram acopladas agulhas hipodérmicas do tipo 1,60 x 40mm.

4.5.3. *Preparação das Amostras*

Foram utilizados 08 (oito) reatores para as análises de PBM. Além disso, as análises contemplaram 03 (três) configurações de proporção entre inóculo (INO) e substrato (SUB), são elas: **(i)** 75% de SUB com 25% de INO, **(ii)** 50% de SUB com 50% de INO e **(iii)** 25% de SUB com 75% de INO.

Observou-se ainda que o substrato necessitava de uma diluição, e que a viscosidade mínima adequada para a agitação do sistema era obtida através da diluição do substrato em água, em uma proporção de 1:4.

Por fim, um último fator levado em consideração, foi a amplitude de pesagem da balança disponível para o experimento. A balança disponível era uma Semi Analítica

modelo L1002i de marca Shimadzu, que possui duas casas decimais de precisão, e no período do experimento, possuía uma capacidade máxima de medição de aproximadamente 866g.

Diante disso, as três primeiras amostras montadas contemplaram as três configurações de substrato e inóculo necessárias para as análises, além de observar tanto a diluição adequada do substrato, quanto a massa máxima mensurável pela balança disponível. Com isso, as amostras 01, 02 e 03 foram montadas na seguinte configuração apresentada na Tabela 07.

Tabela 7. Configuração de montagem das 03 primeiras amostras.

Amostras	Substrato (g)	Inóculo (g)	Água (ml)	Massa Total (g)
Amostra 01	90,12	30,54	360	838,19
Amostra 02	60,47	60,46	240	729,98
Amostra 03	30,45	90,88	120	611,40

Fonte: Alencar, 2023.

A Massa Total, representa a massa de todo o material dentro do frasco (substrato, inóculo e água), além da massa do próprio frasco com o registro e agulha acoplados. Nota-se que a Massa Total máxima (838,19g), não ultrapassa o limite operacional da balança disponível (866g). É possível observar também que a quantidade de água adicionada em cada amostra segue a proporção de 1:4 em relação a quantidade de substrato adicionado. Com isso, além das Massas Totais significativamente diferentes, as amostras 01, 02 e 03 apresentam também um *headspace* significativamente diferente, como é possível observar na Figura 07.



Figura 7. Amostras 01, 02 e 03 com diferentes *headspace* do experimento. Fonte: Alencar, 2022.

Visando reduzir essa diferença de *headspace*, as amostras 04 e 05, “corrigiu-se” a quantidade de água adicionada nas amostras 02 e 03, colocando os mesmos 360ml adicionados na Amostra 01. Dessa forma, apesar de uma maior diluição (e conseqüente menor percentual de Sólidos Totais), os *headspace* se mostram aproximados. Com isso, as novas configurações (amostras 04 e 05) estão apresentadas na Tabela 08.

Tabela 8. Configuração de montagem das amostras de 01 a 05.

Amostras	Substrato (g)	Inóculo (g)	Água (ml)	Massa Total (g)
Amostra 01	90,12	30,54	360	838,19
Amostra 02	60,47	60,46	240	729,98
Amostra 03	30,45	90,88	120	611,40
Amostra 04	60,69	60,95	360	849,79
Amostra 05	30,35	90,96	360	840,91

Fonte: Alencar, 2023.

Por fim, em três frascos restantes dos oito reatores produzidos para as análises PBM, foram montadas as duplicatas das primeiras amostras. Dessa forma, as amostras 06, 07, e 08 apresentam, respectivamente, as mesmas configurações das amostras 01, 02 e 03. A Tabela 09 apresenta as configurações de todas as amostras do experimento.

Tabela 9. Configuração de montagem das amostras de 01 a 08.

Amostras	Substrato (g)	Inóculo (g)	Água (ml)	Massa Total (g)
Amostra 01	90,12	30,54	360	838,19
Amostra 02	60,47	60,46	240	729,98
Amostra 03	30,45	90,88	120	611,40
Amostra 04	60,69	60,95	360	849,79
Amostra 05	30,35	90,96	360	840,91
Amostra 06	90,43	30,24	360	842,53
Amostra 07	60,15	60,66	240	724,78
Amostra 08	30,42	90,91	120	609,48

Fonte: Alencar, 2023.

Após montagem dos reatores e preparação das amostras, estes foram mantidos a temperatura constante, mantida por meio da circulação externa de água a $37 \pm 2^\circ\text{C}$, proveniente do equipamento de banho termostático de marca Alpax, conforme pode ser observado na Figura 08 abaixo:

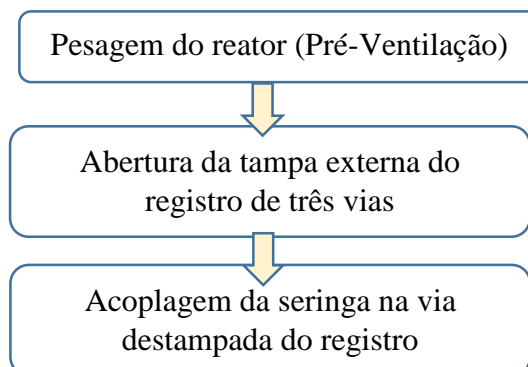


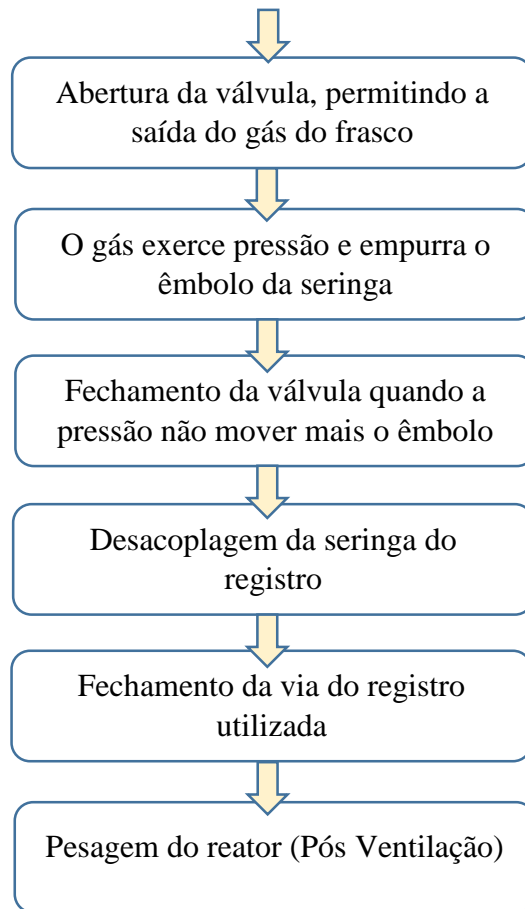
Figura 8. Reatores do experimento. Fonte: Alencar, 2022.

4.5.4. *Pesagem e Ventilação*

O processo de ventilação consiste na retirada do gás produzido do interior do frasco. No Método DG-PBM, é realizada a pesagem do reator antes e depois do processo de ventilação. Dessa forma, é possível determinar a densidade do gás produzido. Conforme o método de Justesen, *et al.* (2019), são utilizados manômetros de baixa pressão, visando finalizar a ventilação, no momento em que a pressão no *headspace* for igual à pressão inicial do experimento.

Como no presente projeto, a montagem dos reatores não contemplou a utilização de manômetros de baixa pressão, o processo de pesagem e ventilação foi realizado por meio da utilização de seringas de 20ml, que eram periodicamente acopladas às mangueiras, enquanto os registros eram posicionados nas posições de aberto, permitindo a passagem do gás do interior do frasco para a seringa, seguindo os passos elencados abaixo:





Quando o volume de gás produzido ultrapassasse o volume máximo da seringa, os processos de ventilação com a seringa foram realizados sequencialmente, sendo esvaziada a cada vez para nova ventilação. Isso foi repetido até o momento em que a pressão do gás não fosse mais suficiente para mover o êmbolo (Figura 09).



Figura 9. Processo de ventilação do gás produzido. Fonte: Alencar, 2022.

Os processos de ventilação e pesagem foram realizados a cada 04 (quatro) dias, até o momento em que não fosse mais possível realizar a ventilação em nenhuma das amostras. Dessa forma, o experimento obteve um TRH de 37 dias.

4.5.5. Cálculos do Método DG-PBM

No método de DG-PBM são utilizados os dados de Volume de Gás Ventilado (v_b , ml) e de Perda de Massa do Sistema (m,g), este último é obtido pela diferença entre a pesagem antes e depois da ventilação. Esses dados são utilizados para o cálculo da Densidade do Biogás Produzido (b , g.ml-1) nas condições padrão de pressão e temperatura (101,325 kPa e 0°C), com descreve a Equação 12.

$$\text{Equação 12.} \quad \rho b = \frac{\Delta m_b}{v_b} - CH_2O$$

Na Equação 12, é possível notar ainda a presença de um fator de correção para o teor de vapor de água do biogás exalado (CH_2O , g.ml-1), esse fator pode ser calculado utilizando os dados de Massa Molar da Água ($M_{H_2O}=18,02\text{g.mol}^{-1}$), Pressão do Headspace (p_{hs} , kPa) antes da ventilação e a Pressão de Vapor de Água (p_{H_2O} , kPa), como descreve a Equação 13.

$$\text{Equação 13.} \quad C_{H_2O} = M_{H_2O} \cdot \frac{PH_2O}{Phs - PH_2O} \cdot \frac{1}{v_b}$$

Geralmente, a Pressão do *headspace* é determinada pelo manômetro de baixa pressão instalado no reator. Como no presente caso não foram utilizados manômetros de baixa pressão, a pressão do *headspace* pode ser aproximada a partir de uma relação entre o volume de biogás ventilado e o volume do *headspace*. Por se tratar de um sistema de dimensões reduzidas, estas pressões são, geralmente, próximas à pressão atmosférica.

Já com relação a Pressão de Vapor de Água, esta é calculada conforme o trabalho de Alduchov e Eskridge (1996), no qual a pressão de vapor de água é dada em função da Temperatura do *headspace* (T_{hs} , °C), Equação 14.

$$\text{Equação 14.} \quad PH_2O = 0.61094 \cdot e^{\frac{17.625 \cdot T_{hs}}{243.04 + T_{hs}}}$$

Como os reatores foram removidos do banho termostático para o processo de pesagem e ventilação, a temperatura do *headspace* ficou entre a temperatura do banho e a temperatura ambiente. E assim como explica Justesen *et. al.* (2019), a T_{hs} pode ser aproximada para 5°C abaixo da temperatura do banho. Determinada a densidade do biogás, é possível, portanto, calcular a Massa Molar do Biogás (M_b , g.mol⁻¹), através da Equação 15.

$$\text{Equação 15.} \quad M_b = \rho_b \cdot v_b.$$

E com o dado de Massa Molar do Biogás, é possível, finalmente, determinar a Fração Molar de CH₄ do biogás (x_{CH_4} , adimensional), por meio da Equação 16.

$$\text{Equação 16.} \quad x_{CH_4} = \frac{M_{CO_2} - M_b}{M_{CO_2} - M_{CH_4}}.$$

Para isso, o método DG-PBM considera que a composição do biogás é de, exclusivamente, CH₄ e CO₂. Dessa forma, com as Massas Molares do Biogás, do CO₂ (44,01 g.mol⁻¹) e do CH₄(16,04 g.mol⁻¹), através da Equação 16, calcula-se a Fração Molar de CH₄, determinando, portanto, o Potencial Bioquímico de Metano do biogás, utilizando o método Densidade de Gás.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Análises físico-químicas iniciais das excretas de aves de postura.

As excretas analisadas, foram obtidas de uma granja que produz ovos em sistema convencional, logo o material sofre ações do sol, chuva, vento, pragas e vetores. Nesse sentido, as coletas foram realizadas no intervalo de 24h, para com isso, minimizar interferências do ambiente. Sendo as análises executadas com o tempo de estocagem de 7 dias.

Podem ser observados na tabela 10, os dados relativos às excretas de aves coletadas, contemplando parâmetros de U, sólidos (totais, voláteis e fixos).

Tabela 10. Resultados das análises das excretas (aves poedeiras de sistema convencional).

PARÂMETROS				
Excretas	%U*	%ST*	%SV*	%SF*
	77,32 ± 0,64	22,68 ± 0,83	95,40 ± 2,10	4,6 ± 0,02

*U (umidade), ST (sólidos totais), SV (sólidos voláteis), SF (Sólidos fixos). Fonte: Alencar, 2022.

Como pode ser observado, as análises demonstraram que as excretas de aves de postura apresentaram um teor de $95,40 \pm 2,10$ % SV.

Segundo estudos levantados por CiBiogás (2020), resíduos pecuários como esterco de galinha apresentam teores de sólidos de 96%. Notando-se a proximidade dos dados obtidos com a literatura, assim firmando maior segurança quanto aos valores encontrados. Lucas Júnior (1994), que enfatiza o quanto maior for a concentração de sólidos voláteis na alimentação diária do biodigestor (kg/m^3), maior será a capacidade do biodigestor de produção de biogás.

Quanto a análise elementar, as excretas apresentaram teores de $30,16 \pm 0,15$ % C, $4,09 \pm 0,15$ % H, $5,46 \pm 0,43$ % N, nesse sentido, apresentando uma relação C/N 5/1.

E para proteína bruta, apresentou um teor de $34,90 \pm 1,20$ % com as repetições em duplicata.

GOMES, *et al.* (2010), que analisou os teores de nitrogênio e sólidos em dejetos de poedeiras alimentadas com milho com diferentes granulometrias, concluiu que o teor de nitrogênio presente nos dejetos de aves poedeiras, não variaram independente da granulometria fornecida na ração, porém, quanto maior a granulometria do milho menor o teor de ST do dejetos. Conforme citado pelo autor, o teor médio de nitrogênio em dejetos de poedeiras criadas em sistema convencional foi de $5,37 \pm 0,60$. Assim corroborando com dados obtidos na presente pesquisa.

Ressalta-se que, a presente pesquisa realizou o método GD-PBM de Justesen *et al.* (2019), e a excreta foi inoculada pelo período de 04 dias, antes dos ensaios de PBM para esgotar qualquer material orgânico biodegradável residual. Bem como, para fins obter um aumento na produção de biogás nos reatores (XAVIER e LUCAS JÚNIOR, 2010).

5.2. Análises físico-químicas iniciais da casca de tucumã.

Os frutos de tucumã apresentam variações de volume e peso, e são compostos de epicarpo (casca) 28,33 %, mesocarpo (polpa) 23,0 %, pericarpo (endocarpo + semente) representa mais de 48,76 % da massa do fruto fresco (MILLER *et al.*, 2013). A presente pesquisa, utilizou o equivalente ao epicarpo do fruto.

Quanto a análise da casca de tucumã, podem ser observados na tabela 11, os dados relativos aos parâmetros de U, sólidos (totais, voláteis e fixos).

Tabela 11. Resultados das análises da casca de tucumã.

PARÂMETROS				
Casca de Tucumã	%U*	%ST*	%SV*	%SF*
	51,76 ± 0,93	48,24 ± 0,01	96,20 ± 3,30	4 ± 0,10

* U (umidade), ST (sólidos totais), SV (sólidos voláteis), SF (Sólidos fixos). Fonte: Alencar, 2022.

Em relação a análise elementar, verificou-se como resultado que possui 53,74 ± 0,62% C, 7,50 ± 0,17% H, 1,5 ± 0,04% N, sendo evidente que possui baixo teor de nitrogênio e que a quantidade de carbono presente na amostra de tucumã, é superior ao das excretas, a qual possui 30,16 ± 0,15% C. Nesse sentido, apresentando uma relação C/N 35/1. Possuindo ainda, um teor de 22 ± 0,38% de proteína bruta.

Como pode ser observado, as análises demonstraram que as a casca de tucumã coletada possui um teor de 96 ± 3,30% SV, sendo muito aproximado do teor das excretas de poedeiras.

Segundo Miller *et al.* (2013), o farelo do resíduo de tucumã apresenta-se como um ingrediente rico em extrato etéreo, percentual significativo de fibra bruta e proteína bruta bem similar ao encontrado no milho de boa qualidade. E conforme Santos (2017), em análise elementar a torta de tucumã possui 46,52% (C), 45,37 % (O) e 2,10 (N).

De acordo com Montingelli, *et al.* (2015), a relação C/N é um parâmetro muito importante para a Digestão Anaeróbia – DA, onde uma relação C/N elevada leva à deficiência no sistema DA, pois indica um rápido consumo de nitrogênio pelos metanógenos e leva a uma menor produção de gás. Pelo contrário, uma relação C/N mais baixa resulta em acúmulo de amônia e valores de pH. Logo, a relação C/N, juntamente com os outros fatores, deve estar no valor ótimo para satisfazer a estabilidade do processo.

Esta que conforme Hagos *et al.* (2017), está na faixa de 20 a 30, de maneira a ser suficiente para manter a estabilidade do sistema e atender aos requisitos esperados de energia e nutrientes para o crescimento celular.

Com isso, após verificação dos dados encontrados referente a casca de tucumã, observou-se que pode contribuir para o processo de biodigestão anaeróbia juntamente com a excreta de poedeiras, tendo em vista seu teor de carbono, o que leva a favorecer o equilíbrio do processo.

5.3. Produção de Biogás

A observação da produção de biogás iniciou-se em 15 de setembro de 2022 e finalizando no dia 22 de outubro de 2022. Sendo verificado que o pico de produção ocorreu nos primeiros 10 dias de experimento e que nos dias subsequentes, a produção foi sendo reduzida até findar-se em todas as amostras, conforme pode ser observado na figura 10 abaixo:

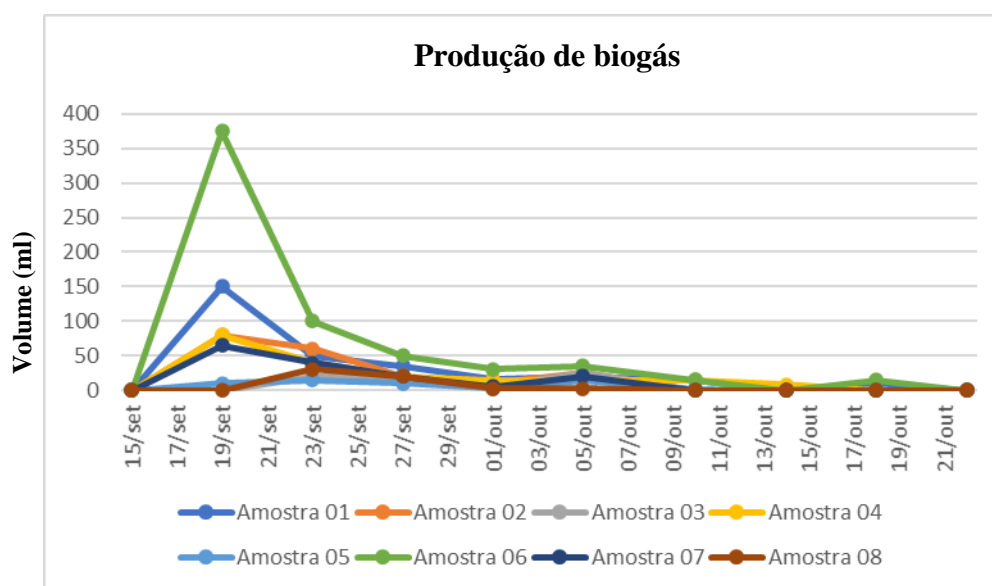


Figura 10. Produção de biogás durante o período do experimento. Fonte: Alencar, 2023.

Logo, o experimento possuiu um Tempo de Retenção Hidráulica – TRH de 37 dias.

5.3.1. Produção acumulada de biogás

A avaliação da produção acumulada do biogás da presente pesquisa deu-se através do Método DG-PBM, de Justesen, *et al.* (2019). Contudo, tal metodologia prevê a utilização de manômetros de baixa pressão, porém nesta pesquisa foi realizado através da

pressão que o gás exercia no êmbolo da seringa, através da abertura e fechamento do registro. Esse procedimento foi realizado no intervalo de 04 (quatro) dias, até que se esgotasse a produção do biogás.

Ressalta-se que, as configurações utilizadas no preparo das amostras foram da seguinte forma:

- Amostras: 01 e 06: 75% (SUB.) - 25% (INO.);
- Amostras 02, 04 e 07: 50% (SUB.) - 50% (INO.);
- Amostras: 03, 05 e 08: 25% (SUB) - 75% (INO.).

Podem ser observados na Tabela 12, os dados coletados durante o período do experimento:

Tabela 12. Produção acumulada de biogás.

AMOSTRAS	Dias de observação do experimento									
	15/set (ml)	19/set (ml)	23/set (ml)	27/set (ml)	01/out (ml)	05/out (ml)	10/out (ml)	14/out (ml)	18/out (ml)	22/out (ml)
Amostra 01	0	150	200	235	251	271	286	286	296	296
Amostra 02	0	80	140	160	170	195	195	195	195	195
Amostra 03	0	0	20	40	45	70	70	70	70	70
Amostra 04	0	80	120	140	155	170	185	193	193	193
Amostra 05	0	10	25	35	38	53	55	55	55	55
Amostra 06	0	375	475	525	555	590	605	605	620	620
Amostra 07	0	65	105	125	130	150	150	150	150	150
Amostra 08	0	0	30	50	53	56	56	56	56	56

Fonte: Alencar, 2023.

Através dos dados obtidos, observou-se que as amostras 06 e 01, foram as que acumularam maior volume acumulado de biogás, sendo 620ml e 296ml respectivamente. Bem como que essas amostras, são as que possuem a configuração de 75% (SUB.) - 25% (INO.).

E que as que produziram menor volume acumulado foram as amostras 5, 8 e 3, sendo 55ml, 56ml e 70ml respectivamente. Estas que possuem de 25% (SUB) - 75% (INO.).

Logo, com base nesses dados observa-se que as amostras com maior proporção de substrato (casca de tucumã) e menor proporção de inóculo (excreta de aves poedeiras), foram as que mais geraram produção acumulada de biogás.

E em contraponto, as que possuem maior proporção de INO e menor de SUB, foram as que menos acumularam biogás. Porém, observou-se também que as amostras 01 e 06, que possuíam configuração em duplicata apresentaram grande diferença com relação a produção de biogás, conforme ilustrado no gráfico da figura 11 abaixo:

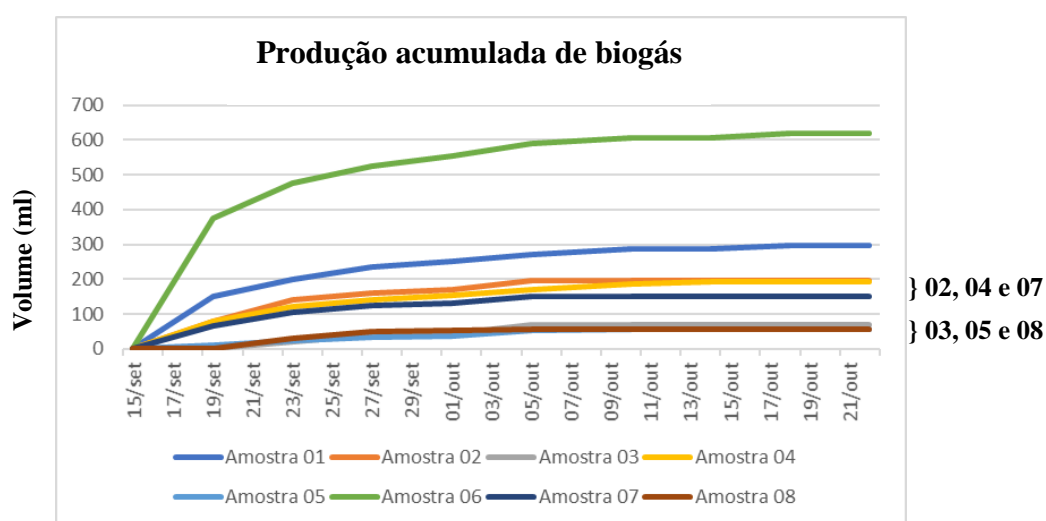


Figura 11. Produção acumulada de biogás durante o período do experimento. Fonte: Alencar, 2023.

Desse modo, resta claro que ocorreram falhas durante a preparação das referidas amostras que podem ter contribuído para a diferença apresentada. RAPOSO *et al.* (2012), salienta que, a influência do inóculo nos testes de batelada depende principalmente de seis fatores: origem/fonte, concentração, atividade, pré-incubação, aclimação/adaptação e armazenamento, fatores que também podem ter corroborado para o resultado apresentado. Outro ponto, que pode ter levado ao resultado identificado quanto às referidas amostras, refere-se à homogeneização e agitação do inóculo no momento de sua retirada do reator laboratorial para preparação das proporções das amostras.

Contudo, mesmo com a diferença identificada, é possível observar também que as demais amostras (02, 03, 04, 06, 07 e 08) apresentaram produções equivalentes conforme pode ser observado no gráfico da figura 11.

Em relação a produção de biogás, estudos destacam que o incremento de aditivos em processos de biodigestão anaeróbica podem favorecer seu melhor desempenho. Como Ibrahim *et al.* (2017), o qual destacou em sua pesquisa, de biodigestão anaeróbica do bagaço da cana-de-açúcar pré-tratado e utilizando excretas de frango como inóculo, que o incremento na produção de gás pode estar associado a ação do NaOH agindo sobre o controle do pH.

E segundo Gellerstedt (2009) as reações em meio alcalino favorecem solubilização uma vez que resultam na despolimerização da lignina.

Com isso, pode ser observado que em estudos com a utilização de resíduos de aves poedeiras, o pré-tratamento e a codigestão com resíduos com maior teor de carbono, podem favorecer a uma maior produção de biogás.

5.4. Potencial Bioquímico do Metano-PBM

O PBM, sendo este, o máximo alcançável de rendimento de CH₄ de um substrato, é um parâmetro chave para avaliação de substratos e métodos de pré-tratamento, sendo importante tanto para pesquisa quanto para o gerenciamento de plantas de biogás (RAPOSO *et al.*, 2012; FILER, *et al.*, 2019).

Após coleta de dados durante o período de experimento, realizou-se os cálculos conforme equações delimitadas por Justesen *et al.* (2019) e obteve-se os dados conforme pode ser observado na tabela 13 abaixo:

Tabela 13. Fração molar de metano das amostras.

AMOSTRAS	Densidade (g/ml)	xCH ₄
Amostra 01	0,0012	0,599
Amostra 02	0,0012	0,599
Amostra 03	0,0015	0,499
Amostra 04	0,0012	0,599
Amostra 05	0,0012	0,599
Amostra 06	0,0012	0,599
Amostra 07	0,0012	0,599
Amostra 08	0,0015	0,499

Fonte: Alencar, 2023.

Ao analisar os dados obtidos, verificou-se que a fração molar de CH₄ das amostras variou entre 0,499 e 0,599, o que representa que o material apresentou 49,99% e 59,99% de CH₄ no biogás produzido.

O principal resultado do processo digestão anaeróbia é a produção de metano sendo 50–75%, dióxido de carbono (19–34%) (MATHES, *et al.*, 2007; KWIETNIEWSKA e TYS, 2014).

Conforme Palhares (2014), em relação a resíduos orgânicos, o biogás na forma como é produzido nos biodigestores é constituído basicamente de 60 a 70% de metano – CH₄ e 30 a 40% de dióxido de carbono – CO₂, além de traços de O₂, N₂, H₂S.

Logo, foi possível de pode ser observado que os dados obtidos estão conforme citados na literatura. Contudo, em virtude de o método utilizado considerar que a composição do biogás é de, exclusivamente, CH₄ e CO₂, não foi possível se estimar a quantidade de demais gases no biogás produzido no presente experimento.

Vale frisar que, no decorrer das etapas percorridas até o experimento realizado foram realizadas adequações nos equipamentos utilizados e alguns métodos, tendo em vista o material disponível.

Nesse sentido, serão elencadas as adequações realizadas para a execução do experimento, utilizando o método DG-PBM e ainda possíveis falhas identificadas para fins de contribuir com futuros trabalhos relacionados ao tema, realizados em laboratórios que não possuem equipamentos específicos para análises de produção de gás.

5.5. Falhas identificadas na preparação do experimento

5.5.1. Vedação do Reator

Na preparação dos materiais e equipamentos a serem utilizados no experimento, para vedação das mangueiras nas tampas de plástico dos frascos de vidro (reatores), foi utilizado inicialmente cola de silicone, porém esta não foi suficiente para uma vedação eficaz. Assim, ocorrendo vazamento e com isso, sendo interrompido para realização de novo experimento. Logo, uma solução foi a utilização de adesivo de massa epóxi e silicone.

5.5.2. Manômetro

Devido à falta de manômetro, a qual é recomendado por Justesen, *et al.* (2019), para execução do método DG-PBM, não foi possível ter referência de quanto gás estava armazenado nos *headspace* dos reatores. Assim, para solução sugere-se a utilização da proveta invertida. Com mangueira fixada na proveta, agitação magnética e medição do volume de gás produzido em forma de batelada, através de registro. Onde o gás seria coletado através da sua passagem para o interior da proveta e deslocamento da água, após abertura do registro.

5.5.3. *Precisão da Balança*

Conforme Justesen, *et al.* (2019), o erro no método DG-PBM está principalmente relacionado à precisão da pesagem e, portanto, a seleção de uma balança apropriada é importante. A precisão da balança relatada normalmente difere da precisão alcançada, em parte devido a fontes de erros não relacionados à balança (por exemplo, correntes de ar).

Nesse viés, a balança utilizada, a qual era disponível no laboratório possui alta precisão, assim podendo ocasionar erros nos dados coletados e alterar o resultado final. Nesse contexto, uma solução sugerida, seria terceirizar a análise, realizando o armazenamento do gás em saco de amostragem e em seguida encaminhar para análise por cromatógrafo, conforme citado por Parawira, *et al.* (2004).

5.5.4. *Adição de inóculo no reator*

Outro fator verificado, foi no momento da adição de inóculo no reator. Uma vez que, este foi coletado conforme sua disposição no frasco laboratorial, e dentre as amostras do experimento, a do reator o de nº 06, foi a que recebeu inóculo que estava mais concentrado e aos fundos do frasco, e a que gerou maior produção de gás. Mesmo este, estando preparado em duplicata com a amostra nº 01, ocorrendo uma grande diferença nos resultados.

Logo a solução recomenda, é realizar a coleta de forma homogênea, com agitação antes de cada retirada, podendo esta ser por agitador magnético, de modo a evitar que o inóculo fique sedimentado aos fundos do frasco e que o material retirado esteja homogêneo.

5.5.5. *Frequência e modo de agitação*

A agitação das amostras durante o experimento do presente trabalho, foi feita com frequência diária, de forma manual em movimentos circulares, com a retirada de cada reator sequencialmente do banho termostático, dessa forma não sendo uniforme. Ressalta-se que agitação é importante para que a mistura não fique sedimentada aos fundos do reator e assim, possa ser totalmente decomposta e auxiliar em uma maior produção de gás.

Esta permite um maior contato entre os microrganismos evitando a formação das chamadas “zonas mortas”, as quais são resultado da sedimentação do lodo e podem causar perda de parte da capacidade útil do reator (BOHRZ, 2010).

Garante melhor contato entre a biomassa ativa e a alimentação, uniformidade física, química e biológica em todo o reator, bem como a dispersão rápida dos produtos metabólicos da digestão e de qualquer substância tóxica que entre no sistema, minimizando assim os efeitos inibidores da atividade microbiana, além de prevenir a formação de espuma (bolhas esbranquiçadas) e o desenvolvimento de gradientes de temperatura no interior do reator (MONNET, 2003; VITORATTO, 2004).

Segundo Esposito *et al.* (2012), em protocolos para teste de PBM, os principais parâmetros que afetam os resultados dos experimentos são temperatura e pH, características físicas e químicas dos substratos, intensidade de agitação e relação inóculo/substrato (I/S). Uma possível solução para uma agitação mais homogênea é através de agitador magnético, como foi utilizado na pesquisa de Reis (2019).

Assim, pode ser observado de maneira resumida na tabela 14, a relação de falhas e recomendações sugeridas relacionados à presente pesquisa, utilizando a metodologia DG-PBM desenvolvida por Justesen, *et al.* (2019).

Tabela 14. Levantamento de falhas e recomendações sugeridas pela pesquisa.

FALHAS	RECOMENDAÇÕES SUGERIDAS
Vedação do Reator: Com cola de silicone.	Vedação com adesivo de massa epóxi e silicone.
Falta de Manômetro: impossibilidade na medição do gás armazenado no <i>headspace</i> do reator.	Utilização da proveta, com mangueira fixada, agitação magnética e medição do volume de gás produzido em forma de batelada com registro.
Precisão da balança: De alta de precisão, assim podendo causar erros nos dados coletados e alterar o resultado final.	Terceirizar a análise, armazenar o gás em saco de amostragem e encaminhar para análise por cromatógrafo.
Adição de inóculo no reator: Devido a coleta ter sido realizada conforme disposição no frasco.	Realizar a coleta de forma homogênea, com agitação antes de cada coleta, para evitar que o material fique sedimentado aos fundos do frasco.
Frequência e modo de agitação: Frequência diária, dessa forma não sendo uniforme.	Agitador magnético, temporizado em pequenos intervalos de tempo.

Fonte: Alencar, 2023.

6. CONCLUSÕES

Conclui-se que a utilização da casca de tucumã como substrato apresentou resultado satisfatório quanto ao desempenho em relação a produção de biogás, visto que as amostras que mais produziram foram as que possuíam 75% (SUB) e 25% (INO). Com isso, evidenciando que pode ser uma alternativa para implementação de sua utilização em processos de biodigestão anaeróbica. O que também contribuirá, com a gestão adequada deste resíduo que é gerado diariamente em Manaus e demais municípios do interior do Amazonas.

O que vale também como alternativa para aproveitamento das excretas de galinhas poedeiras, que possui grande produção no Estado. Logo, sendo uma maneira de mitigar impactos causados por esse sistema de produção animal, além de oportunizar a produção de energia limpa e biofertilizantes, corroborando com compromissos assumidos pelo País perante a Agenda 2030.

Em relação ao PBM do biogás gerado durante o experimento, que foi de 49,99% e 59,99% de CH₄, foi evidenciado em literatura que pode variar até 70% de CH₄, logo, verifica-se que para melhor qualidade, ou seja, maior teor de metano no biogás a necessidade tratamento ou ainda incremento de algum aditivo.

Quanto as metodologias para determinação de PBM, verifica-se que possuem tanto vantagens como desvantagens, seja pelos custos com equipamentos específicos ou por possibilidade de erros na sua execução. Sendo evidenciado na presente pesquisa, que alguns procedimentos durante o preparo do experimento e o período de biodigestão foram realizados de maneira que possa ter contribuído com resultados não conclusivos, contudo, através destes pode se estabelecer alternativas a serem utilizadas em trabalhos futuros com processos de biodigestão anaeróbica.

A utilização da metodologia desenvolvida por Justesen, *et al.* (2019) é uma boa alternativa para minimização de custos em experimentos para avaliação do PBM, em que através dela foi possível se estabelecer a fração molar de metano presente nas amostras utilizadas na presente pesquisa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, D.de A. R.; MENEZES, R. S. C. **Avaliação do potencial de produção de biogás na biodigestão anaeróbia de biomassa residual agrícola.** Revista Ciências do Ambiente, v. 8, n. 2, 2012.

ALDUCHOV, O. A.; ESKRIDGE, R. E. **Improved Magnus form approximation of saturation vapor pressure.** J. Appl. Meteorol. 1996, 35, 601–609.

ALQARALLEH, R.; KENNEDY, K.; DELATOLLA, R.; SARTAJ, M. **Biogas recovery from hyper-thermophilic anaerobic co-digestion of thickened waste activated sludge, organic fraction of municipal solid waste and fat, oil and grease.** J. Bioremediat. Biodegrad. 2017, 8, 408.

ALVAREZ, R.; LIDÉN, G. **Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste.** Renewable Energy, v. 33, n. 2, p. 726-734, 2007.

ALVAREZ, R.; VILLCA, S.; LIDÉN, G. **Biogas production from llama and cow manure at high altitude.** Biomass and Bioenergy, Aberdeen, v.30, n.3, p.66-75, 2006.

ANGELIDAKI, I., ALVES, M., BOLZONELLA, D., BORZACCONI, L., CAMPOS, J.L., GUWY, A.J., KALYUZHNYI, S., JENICEK, P., VAN LIER, J.B. **Defining the biomethane potential (BMP) of solid organic wastes and energy crops: a proposed protocol for batch assays.** Water Sci. Technol. 59, 927, 2009. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2009.040>.

APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association, 2014.

AREVALO, H. G., PUGLLA, C., Danilo, J. **Avaliação nutricional de dejetos de frango para alimentação animal e processos industriais** (Tese de Mestrado, Universidade das Forças Armadas ESPE. Mestrado em Nutrição e Produção Animal). 2018.

ARRUDA, M. H.; AMARAL, L. De L.; PIRES, O. P. J.; BARUFI, Charles R.V. **Dimensionamento de Biodigestor para Geração de Energia Alternativa.** Revista científica eletrônica de agronomia, Garças, ano 1, n. 2, 2002.

ASTALS, S.; ARISO, M.; GALÍ, A.; MATA-ALVAREZ, J. **Codigestion of pig manure and glycerine: Experimental and modelling study.** Journal of Environmental Management 92:1091-1096, 2011.

ATAGANA, H. I. **Co-Composting of PAH-contaminated soil with poultry manure.** In: **Letters in Applied Microbiology.** South Africa, 2004. p. 163-168.

AUGUSTO, K. V. Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbica.** Dissertação de Mestrado em Zootecnia. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2007.

AUGUSTO, K.V.Z. **Manejo de dejetos em granjas de postura comercial.** Avicultura industrial nº 05, 2005.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – BEM. **Relatório Síntese, ano base 2020.** Empresa de Pesquisa Energética – EPE, 2021, Brasil. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-601/topico-588/BEN_S%C3%ADntese_2021_PT.pdf>. Acesso em 17/03/2022.

BAUER, C., KORTHALS, M., GRONAUER, A., LEBUHN, M. **Methanogens in biogas production from renewable resources – a novel molecular population analysis approach.** Water Sci. Technol. 58, 1433–1439, 2008. <http://dx.doi.org/10.2166/wst.2008.514>.

BOHRZ, G. I. **Geração de metano em lagoa anaeróbia: um estudo de caso em abatedouro de bovinos.** 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Tecnologia, Santa Maria, 2010.

CAETANO, L. **Metodologia para estimativa da produção contínua de biogás em biodigestores indiano**. Tese de Doutorado. Faculdade de Ciências Agrárias, UNESP, 112P, Botucatu, 1991.

CANEVER, V. B. **Estudo de filtragem de biogás para fins energéticos utilizando como método de filtragem lavador de gases de baixo custo**. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2017.

CARRILHO N.F.Q. **Valorização de bio-resíduos alimentares por digestão anaeróbia descentralizada – Estudo de Caso: Campus da FCT/UNL**. Tese de dissertação, Universidade Nova de Lisboa. 2012, 126 pp.

CARVALHO, E. S., NESKE, D. A. L., SALZER, E., & JOHANN, J. A. **Viabilidade e benefícios de implantação de pequenos biodigestores em propriedades de agricultura familiar**. In: Anais do VI SINGEP. São Paulo, São Paulo, Brasil, 13 e 14 novembro de 2017.

CASSINI, T. S. (Coord.). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro, ABES, 2003.

CASTAÑÓN, N. J. B. **“Biogás, originado a partir dos rejeitos rurais”**. São Paulo, 2002.

CENTRO DE ESTUDOS AVANÇADOS EM ECONOMIA APLICADA – CEPEA. **PIB do Agronegócio no Brasil**. Setembro de 2021. Disponível em:<[https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_PIB_CNA_1semestre_21\(2\).pdf](https://www.cepea.esalq.usp.br/upload/kceditor/files/Cepea_PIB_CNA_1semestre_21(2).pdf)>. Acesso em 14 de fevereiro de 2022.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – CIBIOGÁS. **Nota Técnica: N° 001/2021 – Panorama do Biogás no Brasil 2020**. Foz do Iguaçu, março de 2021.

CHASTAIN, J.P., CAMBERATO, J.J. & SKEWES, P. C. **Poultry manure production and nutrient content**. Clemson Extension, South Carolina Confined Animal Manure Managers Certification Program – Poultry, 2004.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas ressudarias**. Belo Horizonte: departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/UFMG), 1997. 246p.

CIBIOGAS. **Fundamentos do Biogás**. Foz do Iguaçu, maio 2020.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 357 de 17 de março de 2005**. Disponível em: <
<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5956>>. Acesso em 28/11/2022.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 396 de 03 de abril de 2008**. Disponível em: <
file:///C:/Users/meg_a/Downloads/ResolucaoCONAMA_396-08.pdf>. Acesso em 28/11/2022.

Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução nº 420 de 28 de dezembro de 2009**. Disponível em <
<https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=111046>>. Acesso em 28/11/2022.

CÔTE, C.; MASSE, D.I.; QUESSY, S. **Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries**. Bioresource Technology, Oxford, v.97, n.1, p.686-691, 2006.

CRUZ, F. G. G. **Avicultura caipira na Amazônia**. Manaus: EDUA, 2011, 80p.

DEGANUTTI, R., et al. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada**. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., Campinas, 2002.

DEMIRER, G.N.; CHEN, S. **Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure**. Process Biochemistry, Irlanda, v.40, n.4, p.3.542-3.549, 2005.

DEUBLEIN, D., STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction**, 2010.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG – DIN 384140-8. **German Standard Method for the Examination of Water, Waste Water and Sludge. Sludge and Sediment (group S). Determination of Amenability to anaerobic digestion (S8)**. DIN, 1985.

DIAS, C.N.; MARINHO, A.B.; ARRUDA, R.S.; SILVA, M.J.P.; PEREIRA, E.D.; FERNANDES, C.N.V. **Produtividade e qualidade do morangueiro sob dois ambientes e doses de biofertilizante**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.19, n.10, p.961–966, 2015.

DIDONET, A. A.; FERRAZ, I. D. K. O comércio de frutos de tucumã (*Astrocaryum aculeatum* G. Mey - Arecaceae) nas feiras de Manaus (Amazonas, Brasil). Rev. Bras. Frutic., Jaboticabal - SP, v. 36, n. 2, p. 353-362, junho 2014.

DUARTE, W. J. B. **Tratados E Conferências Climáticas: Uma Cronologia Geral E Da Participação Do Brasil**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação. São Paulo, v.8.n.08. ago. 2022.

ESPOSITO, G; FRUNZO L; GIORDANO, A; LIOTTA, F; PANICO, A. **Anaerobic codigestion of organic wastes**. Reviews In Environmental Science And Bio/technology, v. 11, n. 4, p.325-341, 5 abr. 2012.

FAÉ, I., SANSONI, N. COP26: **O planeta na mão das grandes corporações?** Revista Pet Economia UFES. Vol. 4. Fevereiro, 2022.

FARIAS, R. M., JUNIOR, M. A. P.O., ORRICO, A.C.A., GARCIA, R. G., I CENTURION, S. R., FERNANDES, A. R. M. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo**. Ciência Rural, Santa Maria, v.42, n.6, p.1089-1094, jun, 2012.

FERNANDES, D.M., COSTANZI, R.N.; FEIDEN, A.; SOUZA, S.N.M.; KITAMURA, D.S. **Processo de biodigestão anaeróbia em uma granja de suínos.** Revista Ambiência, v.10, n.3, p. 741 – 754, 2014.

FERRAZ, J. M. G.; MARRIEL, I. E. **Biogás: uma fonte alternativa de energia.** Sete Lagoas, EMBRAPA/CNPMS, 1980.

FILER, J.; DING, H.H.; CHANG, S. **Biochemical Methane Potential (BMP) Assay Method for Anaerobic Digestion Research.** Water **2019**, 11, 921.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION – FAO. 3: **Examples from Latin America. Food and fruit-bearing forest species.** Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1986. p. 40-42.

GELLERSTEDT, G. **Chemistry of chemical pulping.** Pulping Chemistry and Technology, 2, 91-120, 2009.

GLEDHILL, W. **Proposed standard practice for determination of the anaerobic biodegradability organic chemicals.** Philadelphia: American Society for Testing Materials; 1979.

GOMES, F. O. C.; CAPPI, N.; SANTOS, T. M. B.; SILVA, P. P. **Teores de Fósforo, Nitrogênio e Sólidos em Dejetos de Poedeiras Alimentadas com Milho com Diferentes Granulometrias.** 5º Simpósio sobre Recursos Naturais e Socioeconômicos do Pantanal, 9 a 12 de novembro de 2010 – Corumbá – MS.

GUWY A. J. **Equipment used for testing anaerobic biodegradability and activity.** Re-views in Environmental Science and Biotechnology 2004; 3 (2):131–9.

HAFNER, S.D.; ASTALS, S. **Systematic error in manometric measurement of biochemical methane potential: Sources and solutions.** Waste Manag. 2019, 91, 147–155.

HAFNER, S.D.; RENNUIT, C.; TRIOLO, J.M.; RICHARDS, B.K. **Validation of a simple gravimetric method for measuring biogas production in laboratory experiments.** Biomass Bioenergy 2015, 83, 297–301.

HAGOS, K.; ZONG, J.; Li, D.; LIU, C.; LU, X. **Anaerobic co-digestion process for biogas production: Progress, challenges and perspectives.** Renew. Sustain. Energy Rev. 2017, 76, 1485–1496.

HEYDT, A. R.; CREMONEZ P. A.; PARISOTTO, E. I. B.; MEIER, T. R. W.; TELEKEN J. G. **Biodigestão Anaeróbia de Resíduos Líquidos de Fecularia Com Adição de Glicerol em Fase Termofílica.** R. Gest. Sust. Ambient., Florianópolis, n. esp, p.498-514, dez. 2015.

HOLLIGER, C.; FRUTEAU de LACLOS, H.; HAFNER, S. **A new protocol and software tool for standardizing biomethane potential tests: Results of an inter-laboratory study.** In Proceedings of the 15th IWA World Conference on Anaerobic Digestion, Beijing, China, 17–20 October 2017.

IBRAHIM, B. S., LIRA, R. C., SANTOS, E. L., AMORIM, L.C., BELEM, T. J. L., MACEDO, W. V., SOUZA, S. P. L., SILVA, S. J. C., SILVA, J. C., LIRA, J. P. A. **Biodigestão anaeróbica do bagaço da cana-de-açúcar pré-tratado e utilizando excretas de frango como inóculo.** Pubvet Medicina Veterinária e Zootecnia. v. 11, n. 12, p. 1254-1262, dez. 2017.

IBRAHIM, S. B. S. **Biodigestão anaeróbica do bagaço da cana-açúcar utilizando excretas de frango como inóculo.** Dissertação de Mestrado. Rio Largo, AL, Brasil, 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores IBGE.** Estatística da Produção Pecuária abr.-jun. 2021. Disponível em: <file:///C:/Users/meg_a/Documents/DOCUMENTOS%20LET%3%8DCIA/MESTRA DO%20AMBIENTAL/Documentos%20Disserta%3%A7%C3%A3o_Let%3ADci a/REFERENCIAS%20ATUAIS/abate-leite-couro-ovos_202102caderno.pdf>. Acesso em 17 de fevereiro de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores IBGE**. Estatística da Produção Pecuária out.-dez. 2021. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/3087/epp_pr_2021_4tri.pdf>.

Acesso em 17 de fevereiro de 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores IBGE - Estatística da Produção Pecuária jan-mar de 2022**. Disponível em: <https://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/abate-leite-couro-ovos_202201caderno.pdf>. Acesso em 05/12/2022.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11734 – Water Quality – Evaluation of “Ultimate” Anaerobic Biodegradability of Organic Compounds in Digested Sludge – Method by Measurement of Biogas Production**. ISO, 1995.

ISO/DIS 14853. **Plastics-determination of the ultimate anaerobic biodegradability in an aqueous system – method by measurement of biogas production**; 1999.

JUSTESEN C. G., ASTALS, S., MORTENSEN J. R., THORSEN, R., KOCH, K., WEINRICH, S., TRIOLO, J. M., HAFNER, S. D. **Development and Validation of a Low-Cost Gas Density Method for Measuring Biochemical Methane Potential (BMP)**. Water 2019, 11, 2431; doi:10.3390/w11122431.

KANTARLI, I. C., KABADAYI, A., UCAR, S., & YANIK, J. **Conversion of poultry wastes into energy feedstocks**. Waste Management, 56, 530-539. 2016. <http://creativecommons.org>.

KARAEVA, J.V., KAMALOV, R.F., KADIYROV, A.I. **Production of biogas from poultry waste using the biomass of plants from Amaranthaceae family**. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science **288**, 012096. Rússia, 2019.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KWIETNIEWSKA, E.; TYS, J. **Process characteristics, inhibition factors and methane yields of anaerobic digestion process, with particular focus on microalgal biomass fermentation.** *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2014, 34, 491–500.

LABATUT, R.A., ANGENENT, L.T., SCOTT, N.R. **Biochemical methane potential and biodegradability of complex organic substrates.** *Bioresour. Technol.* 102, 2255–2264, 2011. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.035>.

LESSON, S.; SUMMERS, J. D.; DIAS, G. J. **Nutricion aviar comercial.** Santa Fé de Bogotá: Gonzalo J. Diaz Gonzalez, 2000. 359p.

LETTINGA, G.; HULSHOF POL, L. W.; ZEEMAN, G. **Biological wastewater treatment. Part I: naerobic wastewater treatment.** Lecture Notes, Wageningen Agriculture University, ed January, 1996.

LIRA, C. S. **Pirólise rápida da semente de tucumã-do-Amazonas (*Astrocaryum aculeatum*): caracterização da biomassa in-natura e dos produtos gerados.** Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Campinas, SP: [s.n.], 2012.

LORA, E. E. S. (Coordenador), VALENTINI, O. J. **Livro Biocombustíveis, V. 01.** Ed. Interciência. 2012.

LUCAS JÚNIOR. J.; SILVA, F. M.; SANTOS, T. M. B.; OLIVEIRA, R. A. **Aproveitamento de resíduos agrícolas para a geração de energia.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, p. 63-67, Poços de Caldas, 1998. Anais, 1998.

LUCAS JÚNIOR., J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios.** Tese (Livre-Docência) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal. 1994. 113p.

LUCAS JÚNIOR., J. SANTOS T. M.B. **Aproveitamento de Resíduos da Indústria Avícola para Produção de Biogás.** Departamento de Engenharia Rural UNESP, Jabotical, SP. Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola, Concórdia, SC, 2000.

MARIN, M. Z., BLEY, C. J. Jr., & GONZALES, R. H. A. **Espaços Rurais: além dos alimentos, a vocação energética.** Boletim de Geografia, 34(3), 63–80, 2016.

MATA-ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; MACÉ, S.; ASTALS, S. **Codigestion of solid: A review of its uses and perspectives including modeling.** Critical Reviews in Biotechnology, v. 31, n. 2, p. 99-111, 2011.

MATHES, P.G.; POLLARD-DUODOLA, S.D.; CARDENAS-HAGAN, E.; LINAN-THOMPSON, S.; VAUGHN, S. **Teaching struggling readers who are native Spanish speakers: What do we know?** Lang. Speech Hear. Serv. Sch. 2007, 38, 260.

MATOS, A. T., VIDIGAL, S. M., SEDIYAMA, M. A. M., GARCIA, N. C. P., & RIBEIRO, M. F. **Compostagem de resíduos orgânicos, utilizando-se águas residuais da suinocultura como fonte de nitrogênio.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2 (2), 199-203, 1998.

MATOS, C. F.; PAES, J. L.; LIMA E.; PINHEIRO E. F. M.; CAMPOS, D. V. B.; MARQUES, A. S. **Efeito da Aplicação de Biofertilizante de Dejetos de Ave no Solo e Cultura do Sorgo.** AGRENER GD – 10º Congresso sobre Geração Distribuída e Energia no Meio Rural, São Paulo, SP, 2015.

DETMANN, E. **Métodos para Análise de alimentos.** Em: DETMANN, E.; VALENTE, T. N. P.; BERCHIELLI, T. T. Avaliação de fibra insolúvel em detergente Neutro e da fibra insolúvel em detergente ácido. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. p.95-100.

MILLER, W.M.P.; CRUZ, F.G.G.; CHAGAS, E.O.; SILVA, A.F.; ASSANTE, R.T. **Flour from tucum (Astrocaryum vulgare Mart) residue in the diet of laying hens.** Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais, v.11, p.105-114, 2013.

MONNET, F. **An introduction to anaerobic digestion of organic wastes.** Remade Scotland: 2003. 48 p.

MONTINGELLI, M.E.; TEDESCO, S.; OLABI, A.G. **Biogas production from algal biomass: A review.** Renew. Sustain. Energy Rev. 2015, 43, 961–972.

MORAES, B. et al. **Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in brazil from energy, environmental, and economic perspectives.** Profit or expense? Applied Energy, v. 113, p. 825-835, 2014.

MORENG, R. E.; EVANS, J. S. **Ciência e produção de aves: aquecimento, criação, alojamento, equipamentos e produção de aves.** São Paulo: Roca, 1990. p. 143-178.

MOURA, J.P. **Estudo de casos das rotas tecnológicas para produção de biogás e da influência da composição química de dejetos de matrizes suínas na qualidade do biogás gerada por biodigestor.** Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco. 2012.

NASCIMENTO, G. A. Z. **Utilização de resíduos avícolas para a produção de energia e biofertilizante na gestão de propriedades rurais.** Dissertação de Mestrado. São Caetano do Sul, Brasil, 2011.

OLIVEIRA, A.P.; SILVA, O.P.R.; BANDEIRA, N.V.S.; SILVA, D.F.; SILVA, J.A.; PINHEIRO, S.M.G. **Rendimento de maxixe em solo arenoso em função de doses de esterco bovino e biofertilizante.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.18, n.11, p.1130–1135, 2014.

OLIVEIRA, M. D. L. **Avaliação das fezes de galinhas poedeiras e de sua associação com bagaço de cana-de-açúcar hidrolisado na alimentação de bovinos.** Programa de Pós-Graduação em Produção Animal. Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1991.

OLIVEIRA, M. D. S.; VIEIRA, P. F.; BANZATTO, D. A. **Efeito do tempo de estocagem sobre a composição bromatológica das fezes de galinhas poedeiras.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.30, n.7, p.999-1002, 1995.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em matadouros e as possibilidades no mercado de carbono.** Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia com ênfase em

energia e sistemas de automação) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

ORRICO JUNIOR, M.A.P. et al. **Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves.** Engenharia Agrícola, v.30, n.3, p.538-545, 2010.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. **Caracterização e biodigestão anaeróbica dos dejetos de caprinos.** Engenharia Agrícola, v. 27, n. 3, p. 639-647, Jaboticabal, 2007.

OWAMAH, H. I.; ALFA, M. I.; ONOKWAI, A. O. (2020). **Preliminary evaluation of the effect of chicken feather with no major pre-treatment on biogas production from horse dung.** Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management, 14, 100347. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2020.100347>.

OWEN, W.F.; STUCKEY, D. C.; HEALY, JR. J.B. **Bioassay for monitoring biochemical methane potential and anaerobic toxicity.** Water Research 1979; 13 (6): 485–92.

PALHARES, J. C. P. **Uso da Cama de frango na produção do Biogás.** Circular Técnica. Concórdia, EMBRAPA, 2014.

PARAWIRA, W.; MURTO M.; ZVAUYA, R.; MATTIASSON, B. **Anaerobic batch digestion of solid potato waste alone and in combination with sugar beet leaves.** Renewable Energy 2004; 29 (11):1811–23.

PEREIRA, P.C.P. **Anaerobic digestion in sustainable biomass chains. Ph.D.** Thesis. Wageningen University; 2009.

PHAM, C.H.; TRIOLO, J.M.; Cu, T.T.T.; PEDERSEN, L.; SOMMER, S.G. **Validation and Recommendation of Methods to Measure Biogas Production Potential of Animal Manure.** Asian-Australas. J. Anim. Sci. **2013**, 26, 864–873.

RAJENDRAN, K.; ASLANZADEH, S.; TAHERZADEH, M.J. **Digestores de biogás doméstico — uma revisão.** *Energias*, 5, 2911-2942, (2012). <https://doi.org/10.3390/en5082911>.

RAPOSO, F.; DE LA RUBIA, M.A.; FERNANDEZ-CEGRI, V.; BORJA, R. **Anaerobic digestion of solid organic substrates in batch mode: An overview relating to methane yields and experimental procedures.** *Renew. Sustain. Energy Rev.* **2012**, 16, 861–877.

REGO, E. E.; HERNANDEZ, F. M. **Eletricidade por digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar: contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção.** In: encontro de energia no meio rural, 6., 2006. Anais. Campinas, Unicamp, 2006.

REIS, K. V. **Eficiência Da Digestão Anaeróbia De Biodigestores Em Granja De Suínos Em Terminação De Rio Verde – Goiás.** Dissertação de Mestrado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde, Rio Verde – GO, agosto – 2019.

ROCHA, J.S.R.; LARA, L.J.C.; BAIÃO, N.C. **Aspectos éticos e técnicos da produção intensiva de aves.** *Ciência Veterinária nos Trópicos*, Recife, v. 11, n. 0, p.49-55, abr. 2008.

RODRIGUEZ, S. C.; DOMINGO, C. G. L. **La Gallinaza, efecto en el medio ambiente y posibilidades de reutilizacion.** *Revista de Producción Animal.* 32.3: 1-13, 2020.

ROZZI, A.; REMIGI, E. **Methods of assessing microbial activity and inhibition under anaerobic conditions: A literature review.** *Rev. Environ. Sci. Biotechnol* **2004**, 3, 93–115.

ROZZI, A; REMIGI, E. **Methods of assessing microbial activity and inhibition under anaerobic conditions: a literature review.** *Re-views in Environmental Science and Biotechnology* 2004; 3 (2): 93–115.

SAKAR, S.; YETILMEZSOY, K.; KOCAK, E. **Anaerobic digestion technology in poultry and livestock waste treatment – a literature review.** Management & Research Waste, 27: 3-18, 2009.

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade.** 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. **Estimate of the electric energy generating potencial for diferente sources of biogas in Brazil.** Biomass and Bioenergy, n. 33, p. 1101-1107, 2009.

SANTOS, N. A. V.; VIEIRA, S. S.; MENDONÇA, F. G.; NAPOLITANO, M. N.; NUNES, D. M., FERREIRA, R. A. R.; SOARES, R. R.; MAGRIOTIS, Z. M.; ARAUJO, M. H.; LAGO, R. M. **Rejeitos de Biomassas Oriundas da Cadeia de Biocombustíveis no Brasil: Produção de Bio-óleo e Sub-produtos.** Rev. Virtual Quim. 9 (1), 52-72. 2017.

SANTOS, S. J.; SANTOS, E. L.; BARBOSA, J. H.; JUNIOR, D. A. P.; PONTES, E. C.; OLIVEIRA, W. D. S.; FILHO, E. S. **Construção de um biodigestor caseiro como uma tecnologia acessível a suinocultores da agricultura familiar.** Pubvet Medicina Veterinária e Zootecnia. v.11, n.3, p.290-297, Mar., 2017.

SANTOS, T.M.B. et al. **Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível.** Engenharia Agrícola, v.27, n.3, p. 658-664, 2007.

SCHMIDELL, W.; LIMA, U.S.; AQUARIBE, E. & BORZANI, W. **Biotechnologia Industrial: Engenharia Bioquímica**, v. 2. São Paulo: Editora Edgard Blucher, 1 edição. 541 p. 2001.

SEIXAS, J; MARCHETTI, D. A. B. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília: Embrapa Suínos e Aves. 60 p. 1981.

SGORLON, J.G.; RIZK, M.C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C.R.G.; **Avaliação da DQO e da Relação C/N Obtidas no Tratamento Anaeróbio de Resíduos Frutícolas**. Acta Scientiarum Technology, v.33, n.4, p.421-424. 2011.

SHAN-FEI FU, KAI-QIANG CHEN, HUA ZOU, JIA-XING XU, YI ZHENG, QING-FU WANG. **Using calcium peroxide (CaO₂) as a mediator to accelerate tetracycline removal and improve methane production during co-digestion of corn straw and chicken manure**. Energy Conversion and Management 172, 588–594, 2018.

SILVA, F.M. et al. **Desempenho de um aquecedor de água a biogás**. Engenharia Agrícola, v.25, n.3, p.608-614, 2005.

SILVA, G. A; MORAIS JUNIOR, J A.; ROCHA, E. R. **Proposta de procedimento operacional padrão para o teste do Potencial Bioquímico do Metano aplicado a resíduos sólidos urbanos**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 21, n. 1, p.11-16, mar. 2016.

SILVA, J.A.; OLIVEIRA, A.P.; ALVES, G.S.; CAVALCANTE, L.F.; OLIVEIRA, A.N.P.; ARAÚJO, M.A.M. **Rendimento do inhame adubado com esterco bovino e biofertilizante no solo e na folha**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.16, n.3, p.253–257, 2012.

SILVA, M. S. **Biodigestão anaeróbia no saneamento rural**. Lavras: UFLA/FAEPE, 71p. (Textos Acadêmicos). 2001.

SILVA, N. A. **Construção e operação de biodigestor – modelo chinês**. (3a ed.). Brasília: Embrater. 1987.

SIMÕES, A. L. G., OKAWA, C. M. P. **Métodologias para a medição do biogás em sistemas anaeróbios**. 3º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. IBEAS - Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, Brasil, 2020.

SOSNOWSKI, P.; WIECZOREK, A.; LEDAKOWICZ, S. **Anaerobic co-digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal solid wastes**. Adv. Environ. Res. 2003, 7, 609–616.

SOUZA, M. L. B.; LAGE FILHO, F. A. **Emprego de biodigestores anaeróbios no aproveitamento de resíduos animais e controle da poluição ambiental**. Revista Acadêmica Oswaldo Cruz, ano 1, n.3 julho-setembro 2014.

SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T.M.; WISBECK, E. **Biodegradação de resíduos lignocelulosicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.4, p.438–443, 2010.

SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Nashville, Tenn: Archae Press, 1996. 394 p.

STAMS, A. J. M. **Metabolic interactions between an aerobic bacteria in methanogenic environments**. Antonie van Leeuwenhoek, v.66, p. 271-294, 1994.

STEIL, L. **Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbica de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. 109f. Dissertação de Mestrado em Biotecnologia – Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2001.

TARRENTO, G. E.; MARTINEZ, J. C. **Análise de implantação de biodigestores em pequenas propriedades rurais, dentro do contexto da produção limpa**. In: SIMPEP, 13. Bauru, Anais...Bauru, SP, 2006.

TUMUTEGYEREIZE, P.; KETLOGETSWE. C.; GANDURE, J.; BANADDA, N. **Effect of Variation in Co-Digestion Rates of Matooke, Cassava and Sweet Potato Peels on Hydraulic Retention Time, Methane Yield and Its Kinetics**. Journal of Sustainable Bioenergy Systems, Vol.6 No.4, dezembro de 2016.

UMBREIT W.W.; BURRISS R.H.; STAUFFER, U.F. **Constant volume manometry – the “Warburg”**. 4th ed. Burgess Berks; 1964.

UNITED NATIONS ORGANIZATION – ONU. **World population projections 2019 Highlights**. Department of Economic and Social Affairs Population Division. Disponível em: <https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf/>. Acesso em 14/02/2022.

VAN HAANDEL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbico de esgoto**. Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: EPGRAF, 1994. 240P.

VDI 4630. **Fermentation of Organic Materials Characterisation of the Substrate, Sampling, Collection of Material Data, Fermentation Tests**. VDI, 2006.

VITORATTO, E. **Tratamento de efluentes líquidos orgânicos: Sistemas Anaeróbios**. PROACQUA Processos de Tratamento de Efluentes e Com. Ltda (diretor técnico). São Paulo: Faculdade Oswaldo Cruz, 2004. 13 p.

WANG, B.; BJÖRN, A.; STRÖMBERG, S.; NGES, I. A.; NISTOR, M.; LIU, J. Evaluating the influences of mixing strategies on the Biochemical Methane Potential test. **Journal of Environmental Management**, v. 185, p. 54-59, 2017.

WANG, B.; NGES, I.A.; NISTOR, M.; LIU, J. **Determination of methane yield of cellulose using different experimental setups**. Water Sci. Technol. **2014**, 70, 599–604.

WORLD RESOURCES INSTITUTE – WRI, Brasil. **O saldo da COP26: o que a Conferência do Clima significou para o Brasil e o mundo**. Brasil, 2021. Disponível em: <https://www.wribrasil.org.br/noticias/o-saldo-da-cop26-o-que-conferencia-do-clima-significou-para-o-brasil-e-o-mundo>. Acesso em: 03/03/2023.

XAVIER, C. A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. **Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo**. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 2, p. 212-223, Jaboticabal, 2010.

YAO, A.L. et al. **A pilot biogas system plant using high-rate chicken manure anaerobic treatment. Potentialities Of Agricultural Engineering in Rural**

Development. In: THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON AGRICULTURAL ENGINEERING (89-ISAIE), Beijing, Proceedings. V.2, p.966-969. 1989.

ZEB, Iftikhar et al. **Recycling separated liquid-effluent to dilute feedstock in anaerobic digestion of dairy manure.** Energy, [s.l.], v. 119, p.1144-1151, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.075>.