

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
ENGENHARIA QUÍMICA

MÁRCIA EDUARDA RODRIGUES MARTINS

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM MISTURA DE
LODO DE ESGOTO E RESÍDUOS PROVENIENTES DA
ATIVIDADE DE AVICULTURA DE POSTURA**

Maceió - AL

2023

MÁRCIA EDUARDA RODRIGUES MARTINS

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM MISTURA DE
LODO DE ESGOTO E RESÍDUOS PROVENIENTES DA
ATIVIDADE DE AVICULTURA DE POSTURA**

Trabalho de Conclusão de Curso - TCC
apresentado ao curso de Engenharia
Química da Universidade Federal de
Alagoas como requisito para a obtenção do
título de Bacharel em Engenharia Química.

Orientadora: Prof.^a Dra. Dayana de Gusmão
Coelho

Coorientador: Prof. Dr. Eduardo Lucena
Cavalcante Amorim

Maceió - AL

2023

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale CRB4 - 661

M386p Martins, Márcia Eduarda Rodrigues.
 Potencial de produção de biogás com mistura de lodo de esgoto e resíduos
 provenientes da atividade de avicultura de postura / Márcia Eduarda Rodrigues
 Martins. – 2023.
 30. : il. color

 Orientadora: Dayana de Gusmão Coelho.
 Coorientador: Eduardo Lucena Cavalcante Amorim.
 Monografia(Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Química) –
 Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Curso de Engenharia
 Química. Maceió, 2023.

 Bibliografia: f. 30-34.

 1. Biogás. 2. Avicultura de postura. 3. Digestão anaeróbica. 4. Lodo de esgoto.
I. Título.

CDU: 66.01: 662.76



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
UNIDADE ACADÊMICA CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA QUÍMICA



MÁRCIA EDUARDA RODRIGUES MARTINS

**POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM MISTURA DE LODO DE ESGOTO
E RESÍDUOS PROVENIENTES DA ATIVIDADE DE AVICULTURA DE POSTURA**

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 DAYANA DE GUSMÃO COELHO
Data: 16/06/2023 18:15:29-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof.^a Dra. Dayana de Gusmão Coelho (orientador)

Documento assinado digitalmente
 EDUARDO LUCENA CAVALCANTE DE AMOR
Data: 16/06/2023 18:18:32-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim (co-orientador)

Documento assinado digitalmente
 JOÃO BATISTA MAIA ROCHA NETO
Data: 19/06/2023 09:40:12-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. João Batista Maia Rocha Neto

Documento assinado digitalmente
 RENATA MARIA ROSAS GARCIA ALMEIDA
Data: 19/06/2023 14:41:09-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Profa. Dra. Renata Maria Rosas Garcia Almeida

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por ter me concedido o dom da vida e nunca me desamparar. Aos meus pais Marly e Edvaldo, por sempre acreditarem e abraçarem os meus sonhos como se fossem seus, pelo amor e apoio incondicional. Ao meu irmão Fellipe, agradeço por sempre vibrar comigo cada conquista. Ao meu noivo Diego, obrigada por ser alento nos momentos de dificuldade e por sempre me incentivar.

À minha família que sempre se fez presente e, principalmente, compreenderam os momentos de minha ausência em função dos estudos. Minha gratidão em especial a minha avó Ideilda, tia Claudiana e tia Gorete, pelo apoio no início da minha graduação.

Aos meus amigos Laryssa, Stephanie, Juan, Amanda Santos, Amanda Cavalcante, Marcus Vinicius e Matheus que dividiram comigo as dificuldades. Agradeço a amizade, os conselhos e as experiências compartilhadas.

A minha orientadora Prof. Dra. Dayana de Gusmão e meu co-orientador Prof. Dr. Eduardo Lucena, por aceitarem a orientação, pelos ensinamentos e paciência durante a construção deste trabalho.

Agradeço a Universidade Federal de Alagoas e todos os seus membros por se empenharem para oferecer um ensino em alto nível científico.

Por fim, a cada um que fez parte da minha trajetória até aqui, meu sincero agradecimento!

RESUMO

Devido à crescente preocupação com a produção e consumo para atender as demandas da população, tem-se buscado cada vez mais alternativas para o controle da destinação de lodo, resíduos e dejetos oriundos da atividade avícola. Dessa forma, o presente estudo teve como objetivo a geração de biogás proveniente da mistura de dejetos da avicultura de postura com lodo de Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) por meio de digestão anaeróbia. O biogás proveniente deste processo é formado através da transformação da matéria orgânica realizado pelos microrganismos anaeróbios facultativos introduzidos no reator. Para a realização do experimento, foi utilizado um reator de 5 litros em batelada, usando soluções preparadas como substratos com 1g sólido:20mL de água destilada e lodo de ETE, como inóculo. O biogás gerado foi quantificado utilizando um medidor volumétrico de gases. A produção acumulada de biogás foi de 2.740 mL em 7 semanas de operação. Durante o experimento foram coletadas amostras semanalmente a fim de realizar análises físico-químicas, sendo elas: sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF) e demanda química de oxigênio (DQO). Além disso, foram verificados os valores de pH inicial e final, encontrando 7,35 e 6,39, respectivamente. De maneira geral, o pH analisado se apresentou dentro do esperado, atingindo valores neutros que são mais favoráveis ao desenvolvimento de metano. A remoção de DQO no sistema foi utilizada neste trabalho como um indicativo da eficiência do processo de co-digestão anaeróbia, apresentando um percentual de redução de aproximadamente 65% entre a amostra inicial e a amostra final, mostrando assim, um bom funcionamento do biodigestor. No que tange a análise de sólidos, houve uma redução na concentração de SV, em um percentual aproximado de 43%. Sendo assim, foi possível concluir que o biodigestor mostrou-se uma boa alternativa para o aproveitamento e tratamento desses resíduos, tendo em vista que, promoveu a redução da carga orgânica ao mesmo tempo que produzia o biogás.

Palavras-chave: Avicultura de postura. Digestão Anaeróbica. Lodo de Esgoto.

ABSTRACT

Due to the growing concern with production and consumption to meet the demands of the population, more and more alternatives have been sought to control the disposal of sludge, waste and waste from poultry activity. Thus, the present study aimed to generate biogas from the mixture of poultry laying waste with sludge from the Sewage Treatment Station (ETE) through anaerobic digestion. The biogas from this process is formed through the transformation of organic matter carried out by the facultative anaerobic microorganisms introduced into the reactor. To carry out the experiment, a 5-liter batch reactor was used, using solutions prepared as substrates with 1g solid:20mL of distilled water and ETE sludge, as inoculum. The generated biogas was quantified using a volumetric gas meter. The accumulated production of biogas was 2,740 mL in 7 weeks of operation. During the experiment, samples were collected weekly in order to perform physicochemical analyses, namely: total solids (ST), volatile solids (SV), fixed solids (SF) and chemical oxygen demand (COD). In addition, the initial and final pH values were verified, finding 7.35 and 6.39, respectively. In general, the pH analyzed was within the expected range, reaching neutral values that are more favorable to the development of methane. The COD removal in the system was used in this work as an indication of the efficiency of the anaerobic co-digestion process, presenting a reduction percentage of approximately 65% between the initial sample and the final sample, thus showing a good functioning of the biodigester. Regarding the analysis of solids, there was a reduction in the concentration of SV, in an approximate percentage of 43%. Therefore, it was possible to conclude that the biodigester proved to be a good alternative for the use and treatment of these residues, considering that it promoted the reduction of the organic load at the same time that it produced the biogas.

Keywords: Poultry laying. anaerobic digestion. Biogas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas da digestão anaeróbia	15
Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho	18
Figura 3 - Coleta dos resíduos avícolas.	19
Figura 4 - Pesagem do material utilizado como substrato.....	19
Figura 5 - Preparo do material utilizado como substrato.....	20
Figura 6 - Biodigestor em operação.	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição média do biogás.....	17
Tabela 2 - Caracterização do Substrato	24
Tabela 3 - Caracterização do lodo de ETE	25
Tabela 4 - Análise de pH inicial e final	25
Tabela 5 - Valores de DQO calculados	26
Tabela 6 - Resultados obtidos para os sólidos totais, voláteis e fixos	27

Sumário

1. INTRODUÇÃO	6
2. OBJETIVOS	8
2.1. Geral.....	8
2.2. Específicos	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	9
3.1. Resíduos gerados em Estação de Tratamento de Esgoto	9
3.2. Tratamento do Lodo.....	10
3.3. Produção avícola	11
3.3.1. Avicultura de postura	11
3.4. Legislação para tratamento dos resíduos sólidos	13
3.5. Atuais tecnologias de tratamento dos resíduos aviários	14
3.5.1. Compostagem	14
3.5.2. Digestão anaeróbia	14
3.5.2.1. Hidrólise	15
3.5.2.2. Acidogênese	15
3.5.2.3. Acetogênese	16
3.5.2.4. Metanogênese	16
3.5.2.5. Sulfetogênese.....	16
3.6. Biogás	17
4. METODOLOGIA	18
4.1. Coleta dos substratos.....	18
4.2. Análises Físico-Químicas	21
4.2.1. pH	21
4.2.2. Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	22
4.2.3. Determinação dos sólidos	22
4.3. Cromatografia gasosa.....	23
4.4. Caracterização dos Resíduos	24
4.4.1. Substrato	24
4.4.2. Inóculo.....	24
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	25

5.1. Análises Físico-Químicas	25
5.1.1. pH	25
5.1.2. DQO	26
5.1.3. Análise de sólidos	26
5.2. Produção de Biogás	27
5.3. Produção de Metano	28
6. CONCLUSÃO	29
REFERÊNCIAS	30

1. INTRODUÇÃO

Com o aumento populacional vem à tona o uso de novas tecnologias que atendam à gradativa demanda por alimentos, produtos industrializados, roupas, entre outros. Apesar de conseguir suprir essa necessidade, tanto na área industrial como na agricultura, com essa crescente produção têm-se cada vez mais resíduos sólidos e efluentes gerados, que, se não descartados corretamente, podem gerar danos irreversíveis ao meio ambiente e à saúde humana (DANTAS, 2014).

Os sistemas de tratamento de esgoto têm sido cada vez mais citados no cenário científico, visto que, ainda há uma grande parcela de resíduos devolvidos a natureza sem qualquer tipo de tratamento. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS) do ano de 2022, apenas 45% do esgoto gerado é tratado e o efluente equivalente à parcela restante, 55%, é jogado nos corpos hídricos.

O sistema de tratamento de esgoto implantado nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) atua como ferramenta para remoção de impurezas e poluentes agressivos ao meio ambiente e a saúde da população. Apesar dos altos níveis de qualidade ofertados ao efluente tratado, as empresas de saneamento enfrentam outro desafio no que diz respeito ao gerenciamento de resíduos como o lodo que são gerados no decorrer do tratamento (SILVA, 2014). A Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS) reforça a ampliação em investimentos na área de tratamento de resíduos justamente para haver uma destinação correta desses resíduos provenientes de ETE's.

Outra questão conflitante são os dejetos oriundos da produção em larga escala de avinos, bovinos e suínos que ainda se é feito o descarte inadequado de seus resíduos, principalmente em zonas ruais ou áreas pouco fiscalizadas. A atividade de avicultura, especificadamente, tem avançado em níveis significativos. Em 2022, segundo dados da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), o Brasil produziu cerca de 14,5 milhões de toneladas de carne de frango originadas de aproximadamente 7 bilhões de cabeças de aves de corte.

A avicultura de postura se caracteriza pela produção de ovos por meio do confinamento de aves selecionadas apenas para esse fim. Essa atividade utiliza 2 tipos de sistemas de produção: o convencional e o automatizado. No convencional, as galinhas poedeiras são colocadas em gaiolas suspensas com até no máximo 3 níveis, a

fim de diminuir as perdas com ovos quebrados, facilitar o manejo das aves e, o principal, eliminar a utilização da cama de frango comumente utilizada para forrar o piso das gaiolas nas aviculturas de corte. Já o processo automatizado permitiu a utilização de gaiolas suspensas em mais níveis (andares), facilitando a coleta dos ovos e o recolhimento dos dejetos sólidos (SILVA e PELÍCIA, 2012).

Todas as inovações tecnológicas envolvidas nos processos produtivos permitem ganhos inquestionáveis na produtividade. Porém, os dejetos também crescem na mesma proporção assim como a preocupação com o seu gerenciamento. O principal resíduo gerado na atividade de avicultura de postura são as excreções das aves, um material carregado de matéria orgânica com alto número de componentes inorgânicos e microrganismos (AUGUSTO, 2007).

O manejo desses dejetos quando não executados de forma adequada, pode oferecer sérios danos ao meio ambiente, já que se trata de um material que se decompõe rapidamente, podendo contaminar o solo, o ar e os recursos hídricos. Uma alternativa que tem se mostrado eficiente no tratamento desse resíduo é a digestão anaeróbia. Esse método consiste na degradação biológica da matéria orgânica, que se adequam sob ausência de oxigênio, com grupos de microrganismos específicos que produzem uma fonte energética alternativa, o biogás (ORRICO JUNIOR et al., 2010).

Em vista as problemáticas apresentadas, unindo a necessidade de utilização dos dejetos da avicultura de postura com os resíduos e efluentes oriundos das ETE's, o presente trabalho teve como objetivo avaliar, em escala de bancada, a produção de biogás, por meio da digestão anaeróbia, desses efluentes, avaliando-o e o quantificando-o sob análises dos parâmetros: sólidos totais, sólidos voláteis, pH, DQO e composição de metano.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Avaliar qualitativa e quantitativamente o biogás, proveniente da digestão anaeróbia, dos componentes resultantes da mistura de lodo de esgoto, proveniente de uma ETE, e dos resíduos da atividade de avicultura de postura.

2.2. Específicos

- Realizar a caracterização físico-química do biogás;
- Quantificar o volume de biogás produzido durante a biodigestão anaeróbia;
- Determinar o parâmetro de DQO, pH e Sólidos Totais e Voláteis antes e depois da biodigestão anaeróbia.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O avanço populacional resultou em cada vez mais buscas pelo desenvolvimento e por novas tecnologias, visto que a demanda por alimentos e produtos aumenta gradativamente, trazendo à tona graves problemas ambientais já que há uma geração de resíduos que vai crescendo na mesma proporção.

Todo esse desenvolvimento, seja na indústria ou agricultura, resulta em quantidades de resíduos sólidos e efluentes cada vez maiores. E, o Brasil apesar de ser considerado um país em desenvolvimento ainda enfrenta graves problemas quando se trata do descarte adequado desses subprodutos, bem como do saneamento básico. No entanto, o tratamento de efluentes é necessário em todas as escalas, tanto na área industrial como doméstica (DANTAS, 2014).

Segundo a Associação Brasileira de normas técnicas – ABNT, o esgoto é o despejo líquido composto por resíduos domésticos, industriais, comerciais, agrícolas, água de infiltração – águas subterrâneas originárias do subsolo que penetram as canalizações da rede de esgoto - e toda contribuição de águas pluviais.

Um estudo apresentado no Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto do Ministério das Cidades do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2010) informa que do esgoto gerado no Brasil, apenas 45% é tratado. A parcela resultante ao esgoto não tratado equivale a 55% e são despejados diretamente na natureza contendo todas as substâncias contaminantes que causam sérios prejuízos a saúde da população e, principalmente, grandes danos ambientais. Dados como esses reforçam a importância das ETEs e do descarte adequado do resíduo tratado.

Segundo dados da Agência Nacional de Águas (ANA), entre os anos de 2013 e 2019 foram identificadas aproximadamente 900 novas ETEs, com um total de 3.368 existentes no Brasil, distribuídas em 2.007 municípios. As ETEs por mais funcionais que sejam, ainda tem como principal resíduo gerado o lodo de esgoto e o seu descarte ainda é um grande desafio, pois além de representar alto custo operacional também possui grande volume gerado.

3.1. Resíduos gerados em Estação de Tratamento de Esgoto

Há uma grande diversidade de resíduos que chegam até as ETEs por meio das redes coletoras de esgoto. Os sólidos maiores e de fácil retenção ficam retidos nas primeiras etapas do processo através de operações físicas como: gradeamento e tanques de remoção de areia.

Segundo Costa (2011), “dos sólidos presentes no esgoto, aproximadamente 70% são constituídos de matéria orgânica, enquanto os 30% representam toda a matéria inorgânica (areia, sais, metais etc.)”. Nos decantadores primários ocorre a sedimentação e como resíduo gerado tem-se o lodo primário, uma biomassa composta basicamente de material orgânico particulado, possuindo um alto teor de umidade e concentração representativa de nitrogênio e outros minerais.

A parcela não sedimentável passa pelos tanques de aeração e é removida por processos de oxidação biológica, e parte para uma nova de sedimentação dos decantadores secundários e tem-se um novo resíduo, conhecido por lodo secundário e diferente do lodo primário é composto basicamente por material biológico. Sendo assim, esses resíduos gerados por ambos os decantadores são classificados pela NBR 10.004 (ABNT, 1992) como Classe II A, ou seja, não inertes, e se descartados inadequadamente, podem acarretar em variações das características tanto do solo como da água, apresentando-se como grande potencial de causador de danos ao meio ambiente.

3.2. Tratamento do Lodo

Fernandes (2000) ressalta que quanto maior for a semelhança do lodo com a matéria orgânica “fresca”, maior será seu potencial de degradação e produção de odores. À medida que vai sendo digerido, os compostos orgânicos degradáveis são transformados, resultando em um lodo “estabilizado” e com odor menos desagradável.

De acordo a NBR 12.209 (ABNT, 1992), existem procedimentos que podem ser adotados para se ter um tratamento adequado, dentre eles:

- Adensamento ou espessamento que consiste na primeira etapa de tratamento da fase sólida visando ao aumento do teor sólido e diminuição do volume de lodo. Pode ser realizado por meio de sedimentação (gravidade), por flotação ou ainda por adensadores mecânicos;

- Desidratação é a etapa responsável por aumentar a concentração de sólidos reduzindo o percentual de água presente no lodo e, consequentemente, diminuindo o volume de lodo. Pode ser realizada naturalmente com diminuição da umidade do lodo apenas por gravidade e evaporação natural por meio de leitos de secagem; ou de maneira artificial utilizando equipamentos como prensas desaguadoras ou centrífugas;
- A Digestão pode ser por tratamento aeróbio ou anaeróbio. Essa etapa consiste na degradação microbiológica de compostos orgânicos complexos e o produto formado depende do método utilizado. A digestão anaeróbia se destaca em relação à aeróbia por possuir baixo custo de operação e implantação, dispensar uso de aeração, mas principalmente pelo valor agregado ao resíduo orgânico gerado, visto que, é um biogás que pode ser utilizado como fonte energética.

3.3. Produção avícola

A atividade de avicultura no Brasil vem sofrendo transformações desde a década de 70, acarretando ao aumento na produção e melhor desempenho dos sistemas produtivos. Além disso, as indústrias frigoríficas, como as demais indústrias de alimentos, requerem grandes volumes de água em seu processo e, dessa forma, resultam em grande produção de resíduos industriais (SILVA, 2012).

3.3.1. Avicultura de postura

A avicultura de postura tem como produto final o ovo, ou seja, a galinha poedeira é o seu principal fator de produção e, de acordo com a finalidade do ovo, podem ser divididas em dois grupos: para reprodução e para consumo, sendo diferenciadas entre si pela presença ou ausência do galo reprodutor (SILVA & PELÍCIA, 2012).

A produção de ovos depende de vários fatores, dentre os quais se destacam as rações, as vacinas, a genética, as instalações e máquinas e o bem-estar animal. Este último ponto, tem se destacado cada vez mais devido as normas e legislações que garantem a segurança desses animais (AUGUSTO, 2007).

Além disso, o ovo é uma fonte acessível a população, além de ser rico em proteínas, vitaminas e minerais. Sua qualidade e a relação de preço comparativo com as

outras proteínas de origem animal fazem dele uma opção de alimento nutritivo e um importante aliado no combate à fome (SILVEIRA et al., 2014)

Os dejetos de galinhas poedeiras são provenientes da criação de aves mantidas em gaiolas suspensas por isso não existe a presença da cama. Nesses dejetos, além das dejeções, são encontrados penas, ovos quebrados, restos de ração; além de corpos estranhos tais como, pregos, pedaços de arame, madeira dentre outros (OLIVEIRA et. al., 2011). A composição nutricional varia conforme o tipo de exploração, linhagem genética, densidade populacional das aves, tempo de permanência dos dejetos no galpão e naturalmente conforme a composição da ração consumida. Esse material é comumente utilizado na forma de estrume, para fertilizar grande parte das áreas de agricultura (BRDE, 2005).

No entanto, os resíduos de aviários quando usados adequadamente apresentam riscos mínimos ao meio ambiente. Mas, se usados sem o manejo adequado, podem degradar o ambiente e causar dificuldades para a continuidade da atividade. Seguir boas práticas de manejo de resíduos, é absolutamente essencial para o desenvolvimento da avicultura (OLIVEIRA, 2011). Fontes poluidoras, derivadas do escoamento de águas superficiais e infiltração no lençol freático em áreas pecuárias e agrícolas de exploração intensiva, são as principais causadoras da degradação da água em áreas rurais (SEIFFERT, 1999).

Os poluentes potenciais encontrados em esterco de aves que podem alcançar os corpos de água são, nutrientes minerais, substâncias que demandam oxigênio, materiais em suspensão e patógenos.

O Nitrogênio (N) orgânico contido majoritariamente é o íon amônio (NH_4^+), que é convertido em amônia (NH_3) sob influência de umidade e elevação do pH. Devido a volatilização, pode se difundir pela atmosfera e causar problemas como risco a saúde dos operadores e poluição atmosférica, além de reduzir o poder fertilizante do esterco pela perda de N para o ar.

O maior responsável pela contaminação da água do lençol freático é o N contido no nitrato. O N usado no solo em fertilizações, pode ser convertido em nitrato, que é a forma preferentemente absorvida pelas plantas. Esta forma de N é solúvel em água, e facilmente transportada pela solução do solo, da zona das raízes para o lençol freático e daí para a rede de drenagem, onde pode contaminar suprimentos de água potável.

O uso excessivo do esterco de aves como adubo faz com que a concentração no solo ultrapasse níveis elevados de fósforo. A capacidade de adsorção de fósforo pelas partículas do solo se torna saturada e passa a ser lixiviado, alcançando o lençol freático. Assim sendo, o fósforo é considerado como o componente de preocupação prioritário, com relação a seu potencial de eutrofização dos corpos de água superficiais. É considerado, que os seus níveis em corpos de água superficiais não devam ser superior a 0,05 mg P/l para cursos de água e 0,10 mgP/l para lagos e reservatórios (OLIVEIRA, 2011).

3.4. Legislação para tratamento dos resíduos sólidos

Segundo a Norma Brasileira de Resíduo nº 10.004/2004 (NBR 10.004/2004) os resíduos sólidos são definidos como:

“resíduos nos estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos, nesta definição, os lodos provenientes de sistema de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos d'águas, ou exijam para isso soluções técnicas e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível”.

O princípio do “poluidor-pagador” determina que aquele que gera um resíduo que causa um impacto ruim sobre o meio ambiente deve ser responsabilizado com os custos de sua correção; também deve assumir os custos das medidas necessárias para garantir que o meio ambiente permaneça em estado aceitável. O gerador será cobrado pelas emissões que gera ou pelo acidente ambiental que venha a provocar. Essa punição pode incluir, em casos extremos a eliminação da fonte poluidora pela cassação da licença de funcionamento outorgada pelo órgão ambiental e a prisão do responsável (VALLE, 2006).

Um exemplo prático desse princípio ocorreu na cidade de Maceió em uma das fiscalizações do Instituto do Meio Ambiente – IMA, órgão responsável no estado de Alagoas. Este autuou uma avícola em um pouco mais de R\$ 601.000,00 por lançamento de efluentes industriais diretamente no solo e em um canal formado pela drenagem natural do terreno que acabava desaguando na Lagoa Mundaú, que com o

tempo passou a apresentar coloração avermelhada devido a proliferação de algas, ocasionadas possivelmente pelo excesso de matéria orgânica presente no efluente.

3.5. Atuais tecnologias de tratamento dos resíduos aviários

A gestão dos resíduos pode ser realizada utilizando dois métodos: a compostagem e a fermentação anaeróbica, conhecida como biodigestão ou digestão anaeróbia.

3.5.1. Compostagem

Segundo Oliveira (2011), a compostagem pode ser definida como o processo por meio do qual se obtém a decomposição biológica aeróbia controlada de resíduos orgânicos transformando-os em material parcialmente umidificado. O processo ocorre em duas fases distintas: termofílica e maturação. O controle de alguns parâmetros é essencial para o bom desempenho do processo de compostagem, sendo eles a taxa de aeração, temperatura, conteúdo de água, concentração de nutrientes e o tamanho das partículas e pH. Ao final do processo tem-se a obtenção de um esterco mineralizado de interesse agronômico.

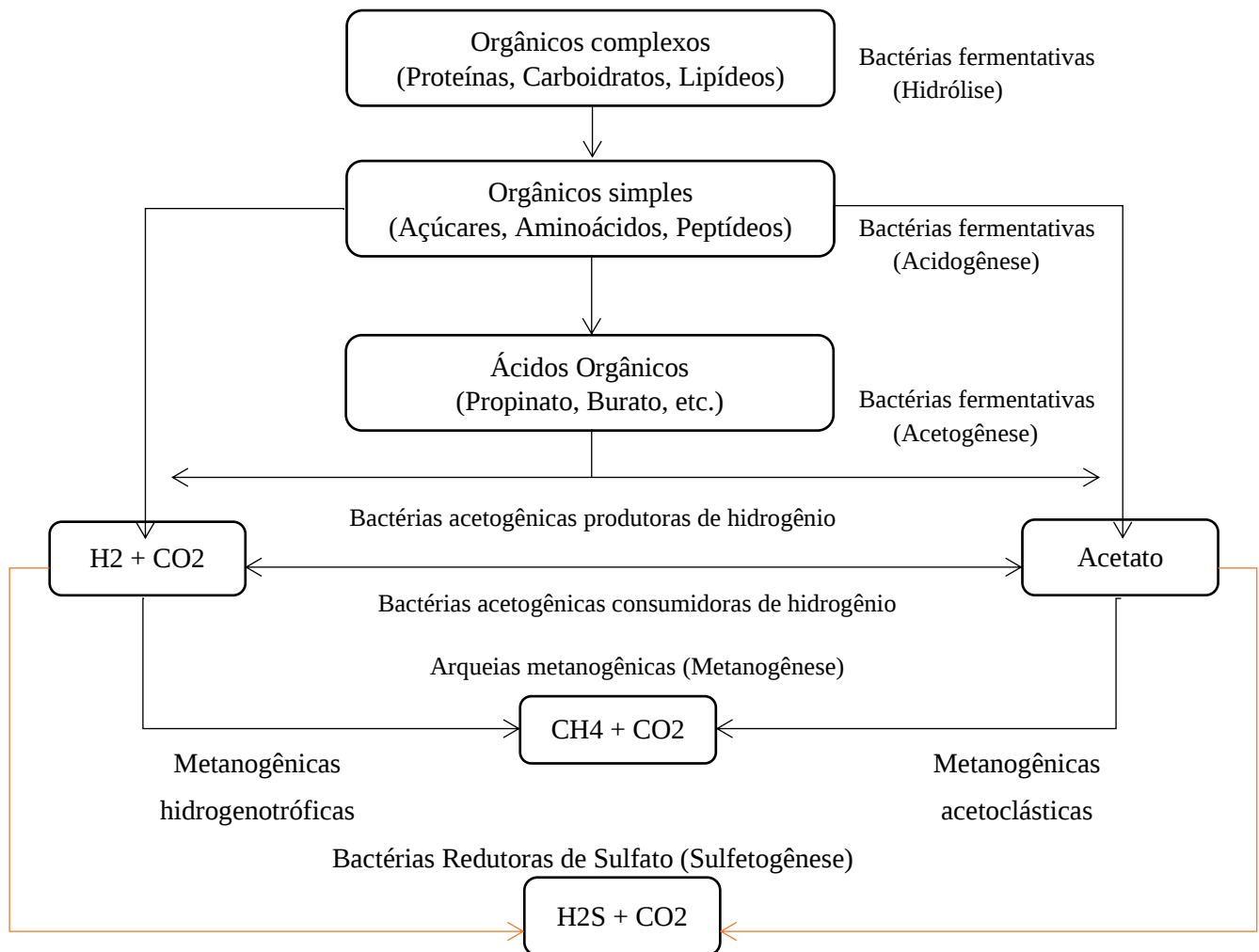
3.5.2. Digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia tem se mostrado cada vez mais eficaz no tratamento de dejetos da produção animal por possuir capacidade de converter a matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, água, gás sulfídrico, amônia, e novas células bacterianas, além de produzir uma fonte energética alternativa, o biogás.

Durante o processo, essa matéria é decomposta através da interação de microrganismos sem a presença de oxigênio de forma natural ou controlada, por meio de reatores anaeróbios, obtendo como subprodutos biogás e biofertilizante, que podem se tornar fonte de renda e agregar valor à avicultura (CHERNICHARO, 2007).

O processo de digestão anaeróbia pode ser simplificado nas seguintes etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese e sulfetogênese, conforme detalhado na Figura 1.

Figura 1 - Etapas da digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Chernicharo, 2007.

3.5.2.1. Hidrólise

A hidrólise é a etapa inicial do processo de DA que consiste na conversão de substâncias particuladas em substâncias solúveis mais simples por meio de exoenzimas, permitindo a entrada de moléculas menores na membrana celular de bactérias fermentativas (PIZARRO, 2022).

3.5.2.2. Acidogênese

Nessa etapa, os compostos hidrolisados na etapa anterior passam por uma fermentação pelas bactérias acidogênicas. Como produtos gerados encontra-se ácidos orgânicos voláteis de alto peso molecular, como ácido butírico e propiônico, por exemplo. Nesta etapa também são produzidos compostos como gás carbônico,

hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas (BENGTSSON, 2008).

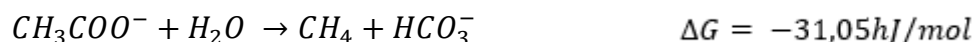
3.5.2.3. Acetogênese

Na acetogênese, as bactérias acetogênicas transformam os produtos da etapa anterior em acetatos, dióxido de carbono e hidrogênio. O acetato é produzido pela produção de hidrogênio por reação sintrófica e em fase posterior é transformado em metano (AIRTON KUNZ et al., 2022).

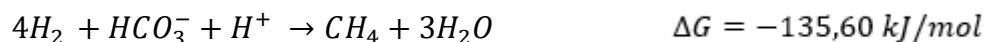
3.5.2.4. Metanogênese

O processo envolvido nessa fase é executado pelas arqueas metanogênicas que são classificadas em dois grupos principais: as acetoclásticas que convertem o acetato em metano e as hidrogenotróficas que produzem metano a partir oxidação de hidrogênio na presença de dióxido de carbono (CHERNICHARO, 2007).

As arqueas metanogênicas acetoclásticas são responsáveis pela maior produção de metano envolvido no processo de digestão anaeróbia e ajudam no controle do pH da fermentação por meio da remoção do ácido acético e da formação de dióxido de carbono (GOIS, 2017), como mostra a reação descrita na Equação 1.



Já as arqueas metanogênicas hidrogenotróficas são coletoras de hidrogênio e são responsáveis por regular o potencial redox do processo de digestão anaeróbia, a taxa de produção total de ácido e a mistura de ácidos que são gerados pelos microrganismos formadores de ácido e absorvem energia para o crescimento (GOIS, 2017) a partir da reação descrita na Equação 2.



3.5.2.5. Sulfetogênese

Essa fase irá existir caso tenha enxofre ou sulfato no produto a ser tratado pelas bactérias redutoras de sulfato. No entanto, essa é uma fase crítica se o objetivo é a produção de metano, tendo em vista que essas bactérias competem com as arqueias metanogênicas, pois consomem os produtos das fases acidogênese e acetogênese

produzindo dióxido de carbono e ácido sulfídrico, prejudicando assim a ação das metanogênicas impedindo a produção de metano (AIRTON KUNZ et al., 2022).

3.6. Biogás

O biogás é resultado do processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica, possuindo em sua composição metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2). Em menores proporções, são produzidos gases como nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2) e hidrogênio (H_2) (Nie et al., 2015). Dependendo da eficiência da digestão, do tipo de substrato utilizado e dos parâmetros operacionais, é possível obter biogás com uma faixa de 50% a 70% de metano, conforme mostra na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição média do biogás.

Gases	Porcentagem (%)
Metano (CH_4)	40 - 75
Dióxido de carbono (CO_2)	25 - 40
Água (H_2O)	2,0 – 7,0
Nitrogênio (N_2)	0,5 – 2,5
Oxigênio (O_2)	0,1 – 1,0
Sulfeto de hidrogênio (H_2S)	0,1 – 0,5
Amônia (NH_3)	0,1 – 0,5
Hidrogênio (H_2)	1,0 – 3,0

Fonte: SILVA (2017).

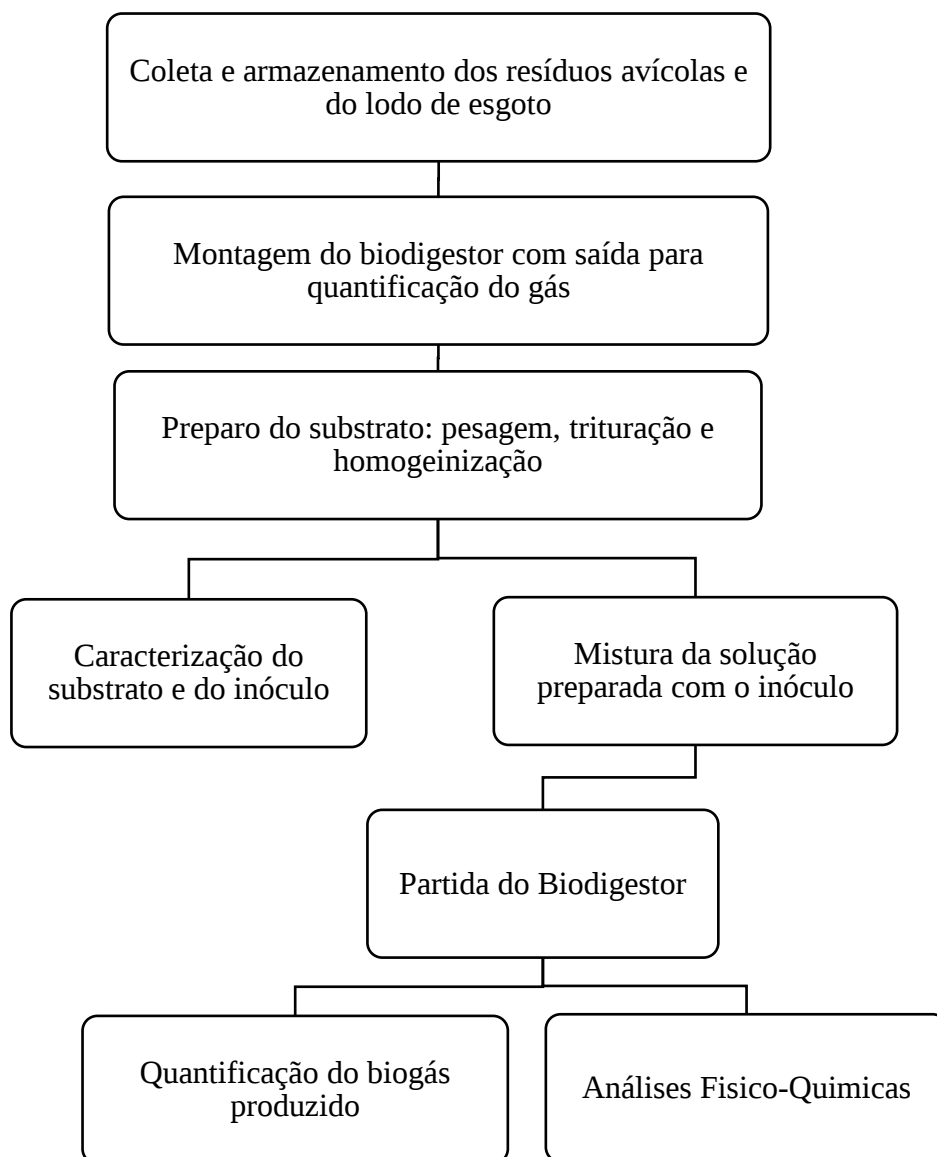
O biogás oriundo da digestão anaeróbia dos dejetos avícolas pode ser utilizado em diversas atividades dentro da própria avícola, como o aquecimento dos pintinhos, por meio de queimadores a gás visando a produção de calor - etapa imprescindível nas duas primeiras semanas do ciclo produtivo das aves, além da possibilidade de utilizar geradores à biogás que podem auxiliar no funcionamento dos sistemas de alimentação, iluminação e ventilação das granjas (SAGULA et al., 2017).

No estudo feito por Jucá et al. (2018) foi realizado um levantamento sobre os potenciais de decomposição anaeróbia a partir dos resíduos de aviculturas e ressaltou-se a importância do dejetos avícola como substrato constatado por meio de experimento em escala de bancada.

4. METODOLOGIA

A Figura 2 apresenta o fluxograma simplificado da metodologia adotada para a execução deste trabalho.

Figura 2 - Fluxograma da metodologia utilizada no trabalho



Fonte: Autora, 2023.

4.1. Coleta dos substratos

Os resíduos avícolas utilizados foram coletados em granja comercial na região de Maceió. As poedeiras ficavam dispostas em fileiras e seus dejetos (material coletado) despejados numa camada abaixo, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Coleta dos resíduos avícolas.



Fonte: Autora, 2023.

Para preparo das soluções, o material utilizado como substrato foi triturado em liquidificador devido o tamanho dos dejetos que impediriam a entrada no biodigestor. As Figura 4 e Figura 5, apresentam o material antes de ser preparado.

Figura 4 - Pesagem do material utilizado como substrato.



Fonte: Autora, 2023.

Figura 5 - Preparo do material utilizado como substrato



Fonte: Autora, 2023.

Além disso, com base no estudo feito por Jucá et al (2018), para a preparação do biodigestor utilizou-se uma concentração de 1 g desse sólido: 20mL de água destilada. O biodigestor foi montado com 2250mL dessa solução e 250mL de inóculo, sendo os 2500mL restante destinados ao *headspace*. Também foi corrigido o pH, afim de atingir a faixa ótima de pH para a metanogênese entre 6,5 e 8,0. O lodo utilizado como inóculo foi coletado em uma ETE localizada no município de Maceió, Alagoas.

Na tampa do recipiente foram feitos dois furos de modo que se encaixassem duas torneiras, uma para a retirada de amostras e outra conectada a um medidor volumétrico de gás. Foi passada a fita veda rosca nos tubos e na parte rosqueada do recipiente. A Figura 6 mostra o biodigestor em operação.

Figura 6 - Biodigestor em operação.



Fonte: Autora, 2023.

Durante o processo, as amostras do material contido no biodigestor foram coletadas semanalmente, durante 7 semanas.

4.2. Análises Físico-Químicas

As análises físico-químicas realizadas foram de pH, Sólidos Suspensos Totais (SST), Sólidos Suspensos Voláteis (SSV) e Demanda Química de Oxigênio (DQO). Foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), Campus A.C. Simões, localizado na cidade de Maceió - AL. As análises descritas acima foram realizadas conforme o Standard Methods for the Examination of Wastewater (APHA, 2005).

4.2.1. pH

Para a determinação do pH foi utilizado o Método Potenciométrico 4500B, utilizando-se o medidor de pH mPA210 da marca TecnoPON. A análise constituiu na inserção dos eletrodos do aparelho em um Becker contendo amostra, onde aguardou-

se a estabilização do valor lido pelo aparelho.

4.2.2. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Para a análise de DQO foram adicionados em um tubo de ensaio: 1,5 mL de solução de Dicromato de Potássio e Sulfato de Mercúrio; 2,0 mL da amostra a ser analisada e 3,5 mL de solução de Ácido Sulfúrico e Sulfato de Prata. Os tubos preparados foram colocados no bloco de aquecimento à temperatura de 150° C, em refluxo durante duas horas. Após os tubos resfriarem, em local protegido da luz, foi realizado a leitura, em absorbância (600nm), no espectrofotômetro.

4.2.3. Determinação dos sólidos

O primeiro passo para a determinação dos sólidos foi a preparação prévia da cápsula de porcelana, sendo submetida a 550°C por 60 minutos. Transcorrido este período, a cápsula foi transferida para um dessecador, com sílica gel para alcançar a temperatura ambiente, em local livre de umidade. Em seguida foi realizada a identificação e pesagem da cápsula em balança analítica. A amostra a ser analisada, com volume de 20 mL, foi colocada na cápsula, e encaminhada à estufa, durante um período de 24 horas a 105°C. A cápsula com a amostra foi encaminhada novamente ao dessecador, e pesada no final do procedimento, quando alcançada a temperatura ambiente. Os sólidos totais foram medidos através da evaporação de um determinado volume da amostra.

A cápsula e amostra foram encaminhadas a um forno mufla por 1 hora à temperatura de 550°C. Por fim, o conjunto foi retirado do forno e colocado em dessecador para novamente alcançar a temperatura ambiente. A pesagem final permitiu a obtenção dos valores de sólidos totais fixos e voláteis, correspondentes ao material que permaneceu retido (material inorgânico) e evaporou da cápsula (material orgânico), respectivamente.

Os cálculos para determinação dos sólidos foram baseados nas seguintes equações:

- Equação dos sólidos totais (ST):

$$ST = \frac{(P_1 - P_0) \times 10^3 \times 10^3}{V_a} \quad (1)$$

Onde:

ST = sólidos totais a 105°C (mg/L);

P_1 = massa da cápsula mais a massa dos sólidos totais secos a 105°C (g);

P_0 = massa da cápsula vazia e submetida a aquecimento em mufla (g);

V_a = volume da amostra utilizado na análise (mL).

- Equação dos sólidos fixos (SF):

$$SF = \frac{(P_2 - P_0) \times 10^3 \times 10^3}{V_a} \quad (2)$$

Onde:

SF = sólidos fixos a 550°C (mg.L/1);

P_2 = massa da cápsula mais a massa dos sólidos calcinados a 550°C (g);

P_0 = massa da cápsula vazia e submetida a aquecimento em mufla (g);

V_a = volume da amostra utilizado na análise (mL).

- Equação dos sólidos voláteis (SV):

$$SV = ST - SF \quad (3)$$

Onde:

SV = sólidos voláteis (mg.L/1);

ST = sólidos totais a 105°C (mg.L/1);

SF = sólidos fixos calcinados a 550°C (mg.L/1).

4.3. Cromatografia gasosa

Os componentes do biogás coletados no *headspace* do biodigestor, foram determinados através da utilização de um cromatógrafo gasoso (GC-2014 SHIMADZU), possuindo o mesmo um detector de condutividade térmica .

Para a quantificação dos gases formados no biodigestor, faz-se necessária injeção de amostras gasosas coletadas no *headspace* dos reatores utilizando-se uma seringa gastight com trava para realização do processo, na coluna cromatográfica.

As condições cromatográficas foram:

- Gás de arraste: Argônio sob fluxo de 21,9 cm. s⁻¹;
- Temperaturas do forno: 30 °C;
- Temperatura da coluna: 200 °C;
- Temperatura do detector: 230 °C.

4.4. Caracterização dos Resíduos

4.4.1. Substrato

Para a caracterização do substrato utilizado no experimento foi utilizada a metodologia apresentada no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* e os resultados estão expressos na Tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Caracterização do Substrato

Substrato	Valor
DQO	75,5 (mg/L)
Sólidos suspensos totais (SST)	228,60 (mg/L)
Sólidos suspensos voláteis (SSV)	144,40 (mg/L)
pH	7,16

Fonte: Autora (2023).

4.4.2. Inóculo

A caracterização do lodo de ETE utilizado como inóculo no experimento também utilizou a metodologia apresentada no *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* e os resultados estão apresentados na Tabela 3**Erro! Fonte de referência não encontrada.** a seguir:

Tabela 3 - Caracterização do lodo de ETE

Lodo de ETE	Valor
DQO	22114,27 (mg/L)
Sólidos suspensos totais (SST)	2640,00 (mg/L)
Sólidos suspensos voláteis (SSV)	1540,00(mg/L)
pH	6,88

Fonte: Autora (2023).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. Análises Físico-Químicas

5.1.1. pH

De acordo com a caracterização do substrato, apresentada na tabela 2, os resíduos oriundos da avicultura de postura apresentaram pH próximo da faixa da neutralidade (7,16), se assemelhando aos resultados apresentados por Tessaro et. al (2015), em torno de 6,6 – 7,5. Para o inóculo, os resultados obtidos também foram próximos da neutralidade, se assemelhando aos valores apresentados por Silva e Moreira (2013), respectivamente (pH 7,3; pH 6,45). Silva (2015), durante a realização do seu trabalho na análise de quatro ETE's situadas na cidade do Recife, encontrou valores de pH de lodos variando de 6,83 a 8,39.

Além disso, o pH foi avaliado no início e no fim do processo, tendo em vista que durante os processos podem ocorrer variações de pH. De maneira geral, o pH analisado se apresentou dentro do esperado, atingindo valores neutros que são mais favoráveis ao desenvolvimento de metano. A avaliação do pH pode ser visualizada na Tabela 4.

Tabela 4 - Análise de pH inicial e final

	pH
Amostra inicial	7,35
Amostra final	6,39

Fonte: Autora (2023).

5.1.2. DQO

A Tabela 5 consta o demonstrativo de valores calculados considerando que a amostra foi diluída na proporção de 1:50.

Tabela 5 - Valores de DQO calculados

Amostra	DQO (mg/L)
1	27.170
2	21.774
3	19.976
4	19.676
5	18.477
6	13.231
7	9.484

Fonte: Autora (2023).

A média dos valores de DQO encontrados foi de 18.541 mg/L, o valor máximo encontrado foi de 27.170 mg/L e o valor mínimo encontrado foi de 9.484 mg/L para as amostras analisadas. A remoção de DQO no sistema foi utilizada neste trabalho como um indicativo da eficiência do processo de co-digestão anaeróbia, apresentando um percentual de redução de aproximadamente 65% entre a amostra inicial e a amostra final. Lima (2005) descreve que a eficiência de remoção de DQO na digestão anaeróbia se situa entre 55 e 70 %. Portanto os resultados obtidos da DQO removida está de acordo com a literatura.

5.1.3. Análise de sólidos

As análises de sólido totais, fixos e voláteis referentes ao biodigestor estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6 - Resultados obtidos para os sólidos totais, voláteis e fixos

Amostra	ST (%)	SV (%)	SF (%)
1	34,14	26,46	7,675
2	27,64	19,76	7,88
3	23,94	16,82	7,12
4	18,80	12,44	6,36
5	21,50	16,36	5,15
6	26,19	19,68	6,52
7	17,55	11,47	6,08

Fonte: Autora (2023).

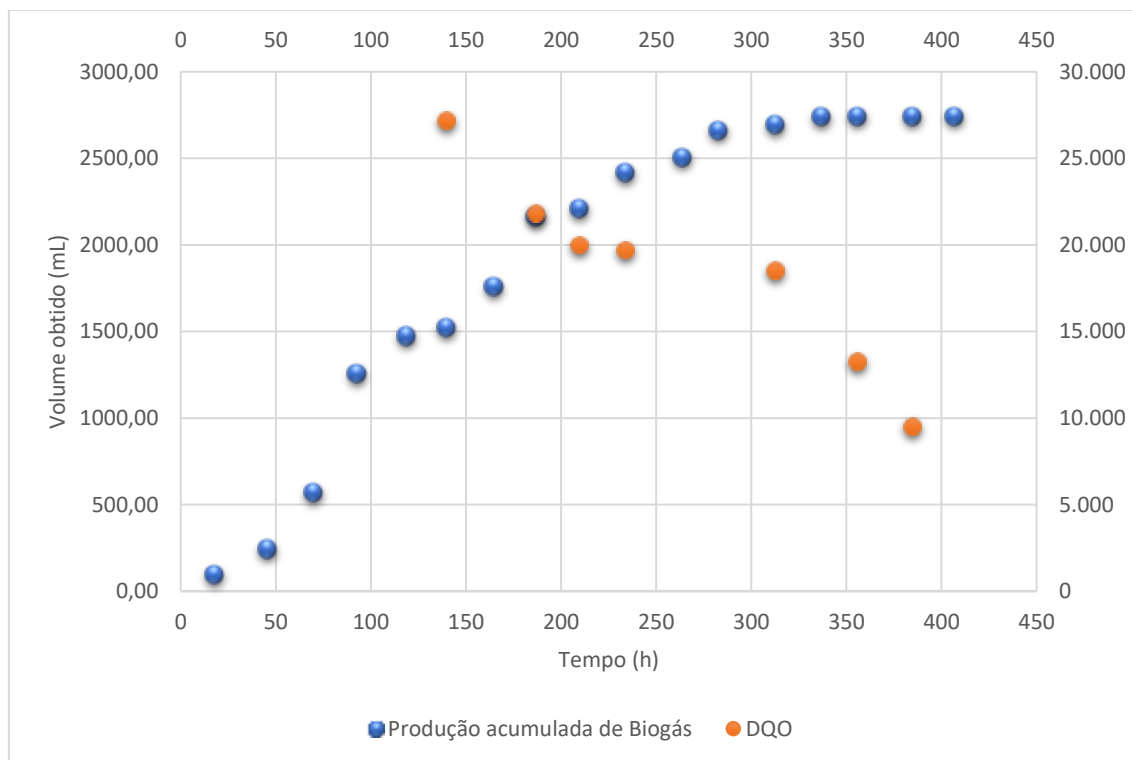
A matéria biodegradável presente na amostra é determinada através da análise de SV, que determina o potencial de produção de biogás. Quanto maior o valor de SV, maior será a produção de biogás (PESSUTI et al., 2015). Comparando as amostras analisadas houve uma redução na taxa de SV, em um percentual aproximado de 57%, aproximando-se dos valores citados por Júnior et. al. (2010), que obteve em seu trabalho com os dejetos da produção avícola reduções acentuadas nos teores de SV, na faixa de 44,05%. Esse fato representa a eficiência da biodigestão anaeróbia na degradação dos componentes.

As maiores reduções de SV encontradas pelos autores podem ser atribuídas à utilização de material fresco para o abastecimento dos biodigestores e manutenção dos reatores em temperatura de 31 °C, além do maior período de retenção (até 100 dias) (JUNIOR et. al., 2010).

5.2. Produção de Biogás

A produção do biogás ocorreu durante o período de 28/02/2023 à 18/04/2023. A paralização da produção foi confirmada durante os últimos dias de produção com a redução significativa do volume no gasômetro. O Gráfico 1 ilustra o comportamento do reator durante a produção.

Gráfico 1 - Produção acumulada de biogás x Demanda Química de Oxigênio.



Fonte: Autora (2023).

Analisando os dados periodicamente (Gráfico 1), percebe-se uma crescente produção de biogás, apresentando maior velocidade inicial de produção, estabilizando a partir do décimo primeiro dia de incubação, representado pelo tempo 283 h semelhante ao encontrado por Ricordi et al (2008). Assim, as condições do experimento favoreceram a digestão anaeróbia antecipando a produção de biogás, diferente do trabalho de Silveira et al. (2014), que só constatou produção após as primeiras 24 horas após a partida do biodigestor.

5.3. Produção de Metano

Através de análise por meio de cromatografia gasosa foi possível constatar um percentual aproximado de 68% de metano e 32% de gás carbônico na composição do biogás. Lara Steil em seu trabalho intitulado “Avaliação do uso de inóculos na biodigestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos” fez um estudo dos teores médios semanais de CO₂ e CH₄ presentes no biogás produzidos em biodigestores operados com resíduos de aves de postura. Os resultados apontaram um

aumento na produção do metano, que representava 63,92% do gás aos 41 dias de digestão, corroborando para os percentuais obtidos neste trabalho.

6. CONCLUSÃO

Perante todo o exposto, foi possível concluir que o biodigestor apresentou boa resposta para a produção de biogás. Os resíduos provenientes da avicultura de postura misturados com o lodo de Estação de Tratamento de Esgoto apresentaram boas respostas para a produção de biogás.

Em relação a caracterização, tanto os resíduos avícolas como o lodo de ETE, os resultados das análises realizadas apresentaram valores semelhantes quando comparados aos obtidos na literatura, corroborando para uma possível padronização de valores de caracterização.

Da avaliação das condições operacionais em relação ao parâmetro pH, foi possível verificar uma redução de 13% do pH final em relação ao pH inicial da operação. A remoção de DQO apresentou um percentual de redução de aproximadamente 65% entre a amostra inicial e a amostra final. No que tange a análise de sólidos, houve uma redução na concentração de SV, em um percentual aproximado de 43%. Sendo assim, foi possível concluir que o biodigestor mostrou-se uma boa alternativa para o aproveitamento e tratamento dos resíduos apresentados no decorrer deste trabalho, tendo em vista que, promoveu a redução da carga orgânica ao mesmo tempo que produzia o biogás.

Com exceção de alguns estudos que utilizaram cama de aviário, proveniente da avicultura de corte, com lodo de esgoto, não foram encontradas na literatura, publicações científicas sobre o uso do lodo de esgoto como inóculo na biodigestão de dejetos de aves de postura. Além disso, para trabalhos futuros, há outros resíduos da avicultura de postura que podem ser estudados como os ovos, desde seu conteúdo interno até a decomposição de sua casca.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8.419:** apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos – procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.004:** resíduos sólidos - classificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 12.209:** projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

ABPA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL. Estabelecimentos habilitados a exportação no país. Disponível em: <https://abpa-br.org/>. Acesso em: 10 março de 2023.

AUGUSTO, Karolina Von Zuben. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia.** 2007. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2007.

BENGTSSON, S.; Hallquist, J.; Werker, A.; Welanders, T. **Acidogenic fermentation of industrial wastewaters: Effects of chemostat retention time and pH on volatile fatty acids production.** Biochemical Engineering Journal, v. 3, p. 492 – 499, 2008.

BRDE – BANCO REGIONAL DE DESENVOLVIMENTO DO EXTREMO SUL. **Aves matrizes e poedeiras: descarte e aproveitamento econômico em Santa Catarina.** Florianópolis: BRDE, 2005. 28 p.

CHERNICHARO, Carlos Augusto Lemos. **Reatores anaeróbios: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2007. 380 p. v. 5.

COSTA, A. N. da (org.); COSTA, A. F. S. da. (org.) **Manual de uso agrícola e disposição do lodo de esgoto para o estado do Espírito Santo**. Vitória: Incaper, 2011. 126 p.

DANTAS, J. dos S; VERCEZI, J. T. **A Influência da Agroindústria Avícola e a Territorialização Urbana da Zona Sul De Rolândia-Pr: O Caso da Empresa Big Frango**. Maringá, Revista Percurso, v. 6, n. 2, p. 77- 102, 2014.

FERNANDES, F. **Estabilização e Higienização de Biossólidos**. Em: Betiol, W.; Camargo, O.A (eds.). **Impacto Ambiental do Uso Agrícola do Lodo de Esgoto**. Jaguariúna: Embrapa, 2000.

FERREIRA, Janaína dos Santos. **Codigestão de lodo de esgoto com resíduos urbanos e industriais visando ao aumento da produção de metano**. 2017. 178 p. UFRJ, 2017.

GOIS, Georgia Nayane Silva Belo. **Produção de hidrogênio e metano a partir da vinhaça de cana-de-açúcar em reatores anaeróbios de leite fluidizado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química. Maceió, 2017.

Instituto do Meio Ambiente de Alagoas. 12 de agosto de 2021. Disponível em: <<https://www2.ima.al.gov.br/avicola-autuada-601-mil-lancar-efluentes-area-protecao/>>
Acesso em: 14 de abril de 2023.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de esgotos domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2005. 932 p.

KAINTHOLA, Jyoti; KALAMDHAD, Ajay S.; GOUD, Vaibhav V. **Enhanced methane production from anaerobic co-digestion of rice straw and hydrilla verticillata and its kinetic analysis**. *Biomass and Bioenergy*. V. 125, p. 8–16, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.04.011>.

OLIVEIRA A. B. de; M., ORRICO, A. C. A.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; SUNADA, N. da, S. & CENTURION, S. R. (2011). **Biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola**. Revista Ceres, 58(6), 690-700.

JUNIOR, M. A. P. O.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestão anaeróbia dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças**. 2010. Tese (Doutorado em Zootecnia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2010.

LIMA, M. F. de. **Produção de biogás a partir de lodo de esgoto em condições mesofílicas e termofílicas**. 2015. Universidade Federal de Pernambuco, 2015.

TESSARO, A. B., Tessaro, A. A., Cantão, M. P., Mendes, M. A. (2015). **Potencial Energético da Cama de Aviário produzida na região sudoeste do parané e utilizada com substrato para produção de biogás**. Rev. Agro. Amb., v.8, n.2, p. 357-377.

VALLE, Cyro Eyer do. **Qualidade Ambiental ISO 14000**. 6 ed. Revisada e atualizada- São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2006.

VON SPERLING, Marcos Von. Lodos ativados: **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. 2. ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005. 428 p. v. 4

PESSUTI, C. A. A.; HERMES, E.; ZENATTI, D. C.; SILVA, R. P. da. **Remoção de sólidos e produção de metano na digestão anaeróbia de efluente de processamento de mandioca**. Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.4, p.110- 116, 2015

RABELO, S. C.; CARRERE H.; MACIEL FILHO, L.; COSTA, A. C. **Production of bioethanol, methane and heat from sugarcane bagasse in a biorefinery concept**. Bioresource Technology, v. 102, n. 17, p. 7887–7895, 2011.

RICORDI, V. G.; TERRES, L. R. ; MARTINS, J. L. **Influência do volume de água sobre o potencial hidrogeniônico na digestão anaeróbia da cama de frango de corte**. Congresso de Iniciação Científica, 2008. Pelotas. Universidade Federal de Pelotas, 2008. Disponível em:

https://www2.ufpel.edu.br/cic/2008/cd/pages/pdf/CA/CA_01144.pdf. Acesso em: 20 de abril de 2023.

Saneamento avança, mas Brasil ainda joga 55% do esgoto na natureza, Observatório do futuro, 2022. Disponível em: <https://www.tce.sp.gov.br/observatorio/saneamento-avanca-mas-brasil-ainda-joga-55-esgoto-coleta-natureza-diz-estudo>. Acesso em: 10 de outubro de 2022.

SAGULA, A. L.; COSTA, L. V. C.; JUNIOR, J. L. **Diferentes diluições e uso de reciclo na biodigestão anaeróbia de cama de frango triturada e peneirada: ensaio batelada**. Brazilian Journal of Biosystems Engineering. 2017.

SALMINEN, E.A.; RINTALA, J.A. **Semi-continous anaerobic digestion of solid poultry slanghterhouse waste: effect of hydraulic retention time and loading**. Water Research, Londres, v.36, p.3.175-3.182, 2002

SEIFFERT, N.F. **Planejamento da atividade avícola visando qualidade ambiental**. In: Simpósio sobre Resíduos da Produção Avícola. Concórdia, SC, 2000.

SILVA, F. C de A.; MOREIRA F. A. **Análise da produção de biogás a partir da biodigestão de resíduos orgânicos domésticos**. IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental. Belo Horizonte, 2007.

SILVA, Thaisa Carolina Ferreira. **Utilização de biogás de estações de tratamento de esgoto para fins energéticos**. p. 152, São Paulo, 2015.

SILVA, Haroldo W.; PELÍCIA, Kleber. **Manejo de Dejetos Sólidos de Poedeiras pelo Processo de Biodigestão Anaeróbica**. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável (RBAS), v.2, n.1., p.151-155, Julho, 2012.

SILVEIRA, M. A.; KRETZER, S. G.; NAGAOKA, A. K.; ARROYO, N. A. R.; BAUER, F. C. **Produção de biogás em biodigestores de tamanho reduzido abastecido com cama de aviário.** Acta Tecnológica, v. 9, n. 2, p. 9-15, 2014.