

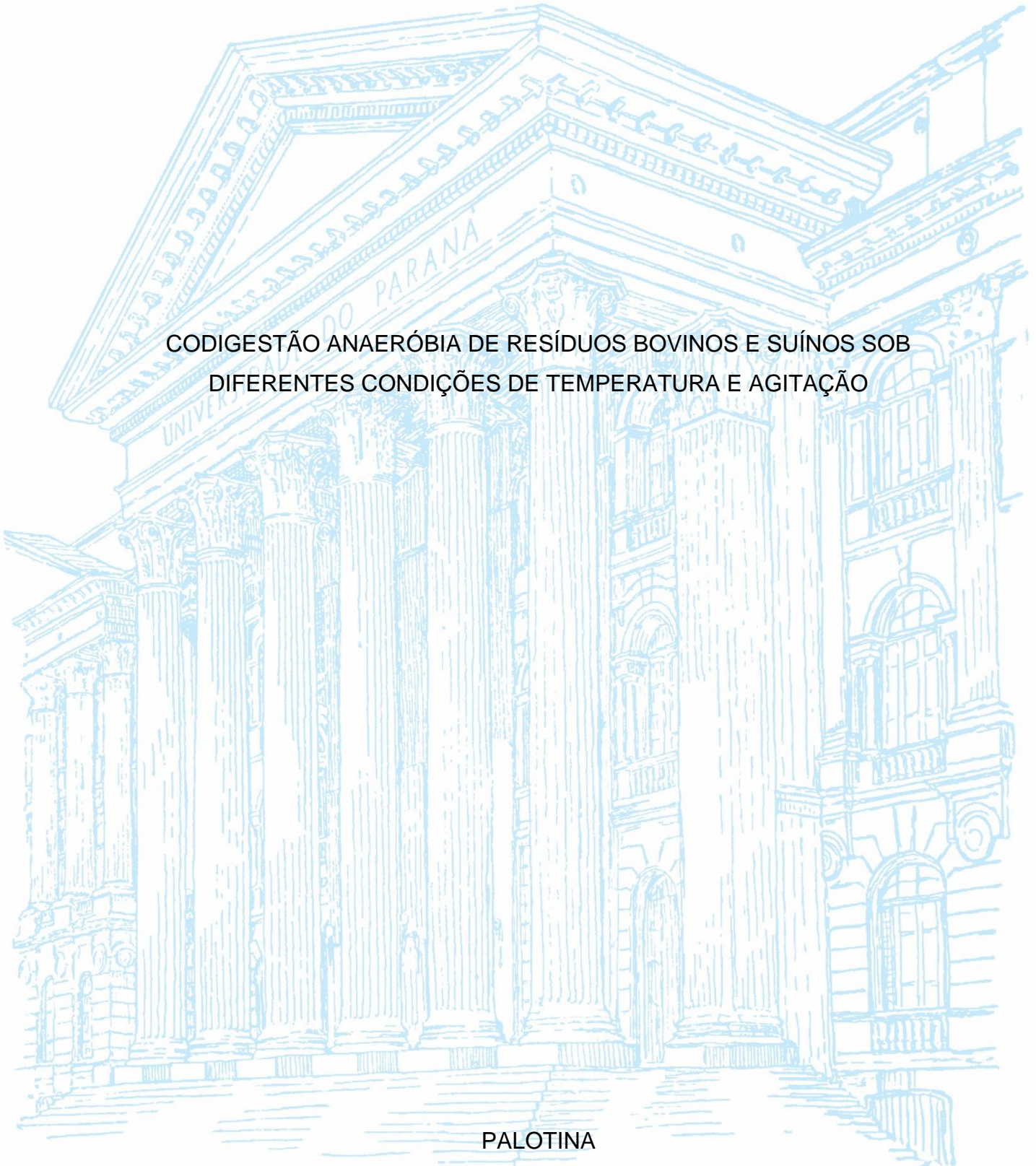
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

LUIZ ANTONIO MARAFON BACCA

CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS BOVINOS E SUÍNOS SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E AGITAÇÃO

PALOTINA

2023



LUIZ ANTONIO MARAFON BACCA

CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS BOVINOS E SUÍNOS SOB
DIFERENTES CONDIÇÕES DE TEMPERATURA E AGITAÇÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia de Energia, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energia

Orientador: Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken

PALOTINA

2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

Aos dezesseis dias do mês de fevereiro do ano de 2023, no horário das 21h15min às 22h40min horas, na plataforma virtual *Microsoft Teams* link: https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_ZDE1NjI5ZjctNmM2Yi00YTM1LWFmZDYtMzM0MzBiODY0ZGRm%40thread.v2/0?context=%7b%22id%22%3a%22c37b37a3-e9e2-42f9-bc67-4b9b738e1df0%22%2c%22oid%22%3a%223049755c-cb90-4c78-807a-be2eb33937e4%22%7d, compareceram para defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso, requisito obrigatório para a obtenção do título de Engenheiro de Energia o aluno Luiz Antonio Marafon Bacca, tendo como Título do Trabalho de Conclusão de Curso "Co-digestão anaeróbia de resíduos bovinos e suínos sob diferentes condições de temperatura e agitação". Constituíram a Banca Examinadora os professores: Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken (Orientador e Presidente da Banca), Prof^ª. Dr^ª. Dilcemara Cristina Zenatti e Prof. Dr. Jhony Tiago Teleken. O orientador e Presidente da Banca concedeu a palavra ao discente, para exposição do seu trabalho. A seguir, foi concedida a palavra em ordem sucessiva aos membros da Banca de Exame, os quais passaram a arguir o discente. Ultimada a defesa, que se desenvolveu nos termos normativos, a Banca de Exame, em sessão secreta, passou aos trabalhos de julgamento, tendo atribuído ao discente as seguintes notas: **Prof. Dr. Joel Gustavo Teleken, nota: 95 (noventa e cinco), Prof^ª. Dr^ª. Dilcemara Cristina Zenatti, nota: 95 (noventa e cinco), e Prof. Dr. Jhony Tiago Teleken, nota: 95 (noventa e cinco)**. A nota final do discente, após a média aritmética dos três membros da banca de exame, foi **95 (noventa e cinco)** considerando o discente **APROVADO**. As considerações e sugestões feitas pela Banca de Exame deverão ser atendidas pelo discente sob acompanhamento de seu orientador. Nada mais havendo a tratar foi lavrada a presente ata, que, lida e aprovada, vai por todos assinada eletronicamente.



Documento assinado eletronicamente por **JOEL GUSTAVO TELEKEN, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/02/2023, às 08:32, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Jhony Tiago Teleken, Usuário Externo**, em 17/02/2023, às 14:06, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **DILCEMARA CRISTINA ZENATTI, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 17/02/2023, às 20:44, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **5021636** e o código CRC **BEB020C5**.

Dedico este estudo a meus pais que nunca mediram esforços para que tivesse uma educação e qualidade. A minha irmã que sempre esteve presente quando eu precisei, e a todos os meus amigos e familiares que me apoiaram durante o curso. Em especial a meus nonos, Modesto e Ventelina, Dante (*in memorian*) e Delia (*in memorian*) que desde criança me aconselharam e permanecem sempre em meus pensamentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus e ao Espírito Santo pelo dom da vida e pela iluminação que proporcionaram durante esta inesquecível jornada.

Agradeço a meus pais e minha irmã que não mediram esforços para que eu continuasse, apesar das inúmeras vezes em que pensei em desistir.

A meus nonos Dante e Delia, que apesar de não estarem mais fisicamente entre nós, nunca saíram da minha mente com seus conselhos e grande sabedoria que me incentiva a ser alguém melhor a cada dia.

A meus nonos Modesto e Ventelina que sempre foram um porto seguro e me incentivaram a nunca desistir.

A minha madrinha e meu padrinho que sempre auxiliaram quando eu necessitava de algo e me acompanham desde o meu nascimento.

Aos meus colegas de faculdade que me acompanham desde o início e sempre estiveram presentes para ajudar. Em especial ao João, De Paula e a Vic que me aturaram durante estes anos de moradia em conjunto.

Aos professores e técnicos que durante estes anos foram fundamentais para meu aprendizado e acabaram se tornando bons amigos. Em especial ao meu orientador Joel que durante 7 anos me ensinou e acompanhou sempre disposto a ajudar.

Aos frequentadores do LPB que por anos compartilharam o ambiente de trabalho tornando-o menos maçante e mais divertido de se estar. Em especial a todos os que me auxiliaram em meus experimentos durante este período.

A todos os primos e tios que proporcionaram ótimos momentos durante esta trajetória trazendo altas risadas e brincadeiras que ajudaram a encerrar cada dia como um novo dia. Um agradecimento especial a Tia Eca que fez sempre esteve junto e auxiliando em casa nos períodos em que eu não estava.

Ao pessoal da república Balanga Teta que nos jogos que jogamos ou nas festas que fizemos traziam alegria a cada dia.

A todos os companheiros de time que possui enquanto estive na faculdade, em especial o pessoal do Dinamo, Shaktar e Meninos do acre que em todos os jogos fazíamos a festa, seja ganhando ou perdendo a diversão era garantida.

Ao pessoal do Clube Real que sempre reforçaram a importância dos estudos e contribuíram de várias maneiras, seja com concelhos, partidas de quatrilho ou jogos dos veteranos.

Ao time de suprimentos automotivos da Raízen que proporcionaram durante o estágio um ótimo ambiente de trabalho e uma boa amizade que irei levar para a vida toda.

Aos bares em Palotina que proporcionavam uma forma de esquecer os problemas causados pela faculdade gerando altas risadas e histórias inesquecíveis.

Por fim mas não menos importante, o agradecimento especial a quem fez parte de toda esta trajetória, que são meus cachorros e minhas gatas, em especial a Chiquinha e a Kiara(in memoriam) que me trazem felicidades desde minha infância, sendo cada final de semana em que estive na faculdade responsáveis por mostrar o verdadeiro sentido da palavra felicidade.

“A vingança nunca é plena, mata a alma e a envenena”
(CHAVES)

RESUMO

A eliminação incorreta de resíduos orgânicos tem causado impactos em grande escala em muitos lugares do mundo. Entre estes, os dejetos de animais estão entre os mais nocivos se eliminados sem o tratamento adequado para o ambiente, causando eutrofização das águas, mortalidade dos animais aquáticos, contaminação dos cursos de água e proliferação de zoonoses. A codigestão anaeróbica destes resíduos tem sido estudada há alguns anos, obtendo-se resultados satisfatórios no tratamento deles, visando também a produção de biogás e biofertilizante. Assim, o presente trabalho visa realizar a codigestão anaeróbia de diferentes substratos através da variação das condições de temperatura e agitação na operação dos reatores. Os substratos utilizados foram água residuária da suinocultura e dejetos bovinos. A caracterização do substrato foi feita com análises de pH, alcalinidade e acidez, sólidos totais e sólidos voláteis. O biogás gerado foi coletado e analisado por meio de cromatografia gasosa. A produção de biogás foi modelada utilizando os modelos empíricos de Gompertz modificado e Logístico. Ao final do processo com as análises do efluente realizada e com a utilização da análise estatística por meio da tabela ANOVA e geração de superfícies de respostas, observou-se que o potencial hidrogeniônico (pH) sofreu influência significativa apenas pela temperatura, onde uma menor temperatura levou a um pH próximo a neutralidade. Com relação a remoção de sólidos totais (ST) apenas a agitação teve uma influência significativa sobre o processo, enquanto para a remoção de sólidos voláteis (SV) e produção de biogás, a temperatura e agitação não foram variáveis que influenciaram significativamente no resultado. Sendo os valores máximos de remoção de ST e SV, de $40,13 \pm 7,32$ e $49,78 \pm 9,53\%$, respectivamente. As porcentagem de Metano (CH_4) mantiveram-se com uma média superior a 90% na composição do biogás, com valores de Hidrogênio (H_2) não chegando a 0,1% do volume total. A escolha dos modelos empíricos utilizados mostrou-se adequada ao processo ao se ajustarem ao comportamento do biogás gerado tendo um coeficiente de determinação superior a 95%, onde foi constatado que a duração da fase lag foi superior nos experimentos que estavam a temperatura de 45C, enquanto a agitação não influenciou significativamente o resultado.

Palavras-chave: Codigestão. Biodigestão anaeróbica. Biogás. Tratamento de resíduos.

ABSTRACT

The incorrect disposal of organic waste has caused large-scale impacts in many places around the world. Among these, animal waste is among the most harmful if disposed of without proper treatment for the environment, causing eutrophication of water, mortality of aquatic animals, contamination of watercourses and proliferation of zoonoses. The anaerobic codigestion of these residues has been studied for some years, obtaining satisfactory results in their treatment, also aiming at the production of biogas and biofertilizer. Thus, the present work aims to perform anaerobic codigestion of different substrates through the variation of temperature and agitation conditions in the operation of the reactors. The substrates used were swine wastewater and cattle manure. The substrate characterization was made with pH, alkalinity and acidity, total solids and volatile solids analysis. The biogas generated was collected and analyzed by gas chromatography. Biogas production was modeled using the empirical models of modified Gompertz and Logistic. At the end of the process with the analysis of the effluent performed and with the use of statistical analysis through the ANOVA table and generation of response surfaces, it was observed that the hydrogenionic potential (pH) was significantly influenced only by temperature, where a lower temperature led to a pH close to neutrality. Regarding the removal of total solids (TS) only agitation had an influence on the process, while for the removal of volatile solids (SV) and biogas production, temperature and agitation were not variables that significantly influenced the result. The maximum values of Removal of ST and SV were 40.13 ± 7.32 and $49.78 \pm 9.53\%$, respectively. Methane percentage (CH_4) remained with an average higher than 90% in biogas composition, with Hydrogen (H_2) values not reaching 0.1% of the total volume. The choice of empirical models used proved to be adequate to the process by adjusting to the behavior of the biogas generated with a coefficient of determination greater than 95% with the logistic model better adjusting to 5 experiments and the modified Gompertz models to 2.

Keywords: Co-Digestion. Anaerobic Biodigestion. Biogás. Waste treatment.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ETAPAS DO EXPERIMENTO	36
FIGURA 2 - REATORES, GASÔMETROS, SISTEMAS DE AQUECIMENTO E AGITAÇÃO.....	38
FIGURA 3 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (LADO ESQUERDO) E GRÁFICO DE PARETO (LADO DIREITO) PARA O PH	45
FIGURA 4 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (LADO ESQUERDO) E NORMALIDADE (LADO DIREITO)	46
FIGURA 5 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (LADO ESQUERDO) E GRÁFICO DE PARETO (LADO DIREITO) PARA A % DE REMOÇÃO DE ST.....	50
FIGURA 6 - GRÁFICO DE PARETO PARA A REMOÇÃO DE SV	50
FIGURA 7 - DISPERSÃO DE ERROS (DIREITA) E NORMALIDADE (ESQUERDA) PARA A REMOÇÃO DE ST	51
FIGURA 8 - GRÁFICO DE PARETO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	53
FIGURA 9 - AJUSTE DO MELHOR MODELO DE REGRESSÃO A CADA EXPERIMENTO	55

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - CONSUMO BRASILEIRO DE ENERGIA FINAL POR FONTE.....	18
GRÁFICO 2 - PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA PRIMARIA POR FONTE .	19
GRÁFICO 3 - OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE NO BRASIL	19
GRÁFICO 4 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO O BIOGÁS NO BRASIL	20
GRÁFICO 5 - COMPOSIÇÃO DO SUBSTRATO	42
GRÁFICO 6 - BIOGÁS ACUMULADO	53
GRÁFICO 7 - PORCENTAGEM DE METANO NO BIOGÁS.....	57

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SUÍNOS E BOVINOS DE ACORDO COM A LITERATURA	22
TABELA 2 - PARÂMETROS E METODOLOGIAS EMPREGADAS NO EXPERIMENTO	37
TABELA 3 - FATORIAL DE TEMPERATURA E AGITAÇÃO	40
TABELA 4 - ANÁLISES QUÍMICAS PARA OS RESÍDUOS E O SUBSTRATO.....	43
TABELA 5 - VALORES DE PH E ALCALINIDADE DO SUBSTRATO E DO DIGESTATO	44
TABELA 6 - PH E RELAÇÃO AV/AT ENCONTRADAS NA LITERATURA	47
TABELA 7 - SÓLIDOS INICIAIS, SÓLIDOS DO EFLUENTE E SUA PORCENTAGEM DE REMOÇÃO.....	48
TABELA 8 - % DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS ENCONTRADOS NA LITERATURA	49
TABELA 9 - BIOGÁS ACUMULADO E RENDIMENTO	52
TABELA 10 - PARÂMETROS CINÉTICOS DO MODELO DE GOMPERTZ.....	54
TABELA 11 - PARÂMETROS CINÉTICOS DO MODELO LOGÍSTICO.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

- ST - Sólidos totais
- SV - Sólidos totais voláteis
- pH - Potencial Hidrogeniônico
- AV - Acidez Volátil
- AT - Alcalinidade total
- TRH - Tempo de retenção hidráulica
- GNV - Gás natural veicular
- TEP - Tonelada equivalente de petróleo

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos específicos.....	17
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	CONTEXTUALIZAÇÃO ENERGÉTICA	17
2.1.1	Demanda energética brasileira.....	17
2.1.2	Matriz energética brasileira	18
2.1.3	Definição de biomassa e sua utilização.....	20
2.1.4	Produção suína e bovina no Brasil.....	21
2.2	BIODIGESTÃO ANAERÓBIA	23
2.2.1	Processo de Biodigestão.....	23
2.2.2	Tipos de Biodigestores	24
2.2.3	Biogás	26
2.2.4	Digestato	27
2.3	FATORES QUE AFETAM A BIODIGESTÃO.....	27
2.3.1	pH, Alcalinidade e acidez	27
2.3.2	Sólidos Totais e sólidos voláteis.....	28
2.3.3	Temperatura.....	29
2.3.4	Agitação	29
2.3.5	Tempo de retenção hidráulica (TRH)	30
2.3.6	Tipo de inóculo	30
2.4	CODIGESTÃO ANAERÓBIA	31
2.4.1	Impactos.....	31
2.4.2	Estudo de caso 1 – Granja Haacke	32
2.4.3	Estudo de caso 2 – Usina Biokholer.....	33
2.5	MODELOS NÃO LINEARES.....	34
2.5.1	Modelo logístico	34
2.5.2	Modelo de Gompertz modificado.....	35
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	36
3.1	SUBSTRATO UTILIZADO NO TRABALHO.....	37
3.2	CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO, EFLUENTE E BIOGÁS.....	37

3.3	BIODIGESTORES	37
3.3.1	Sistema de controle de temperatura	38
3.3.2	Sistema de controle de agitação	38
3.3.3	Sistema de coleta de Biogás	39
3.4	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	39
3.5	CINÉTICA DE PRODUÇÃO ACUMULADA DE BIOGÁS	40
4	APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	41
4.1	CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS E FORMULAÇÃO DO SUBSTRATO..	41
4.1.1	Resíduo Suíno.....	41
4.1.2	Resíduo Bovino	42
4.2	PH E ALCALINIDADE.....	43
4.3	SÓLIDOS TOTAIS E SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS	48
4.4	PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	51
4.4.1	Biogás acumulado e rendimento	51
4.4.2	Modelos não lineares	53
4.5	COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS	56
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	58
5.1	RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	58
	REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda energética vem causando uma expansão acelerada em novas unidades geradoras, e com isso uma elevada preocupação ambiental. Esta preocupação se deve ao fato de muitos países optarem por utilizar combustíveis fósseis para geração de energia. Contudo, uma nova vertente de expansão de geração de energia limpa apoiada por países do primeiro mundo busca alterar este modelo atual com a introdução de usinas eólicas, solares e movidas a biomassa.

A bioenergia pode ser obtida a partir de diversas fontes de biomassa sendo as mais reconhecidas a queima de carvão vegetal, a gaseificação ou a biodigestão anaeróbia. A biodigestão alia um potencial de geração de energia com um descarte correto de resíduos orgânicos de forma que não prejudique o meio ambiente (CARDOSO, 2021).

A degradação da matéria orgânica em anaerobiose promove a geração de biogás, composto majoritariamente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Este metano pode ser simplesmente queimado in natura para conversão em CO_2 , o qual é 25 vezes menos poluente que o CH_4 (OBREGON et al., 2022).

Juntamente deste biogás é gerado o digestato, que tem a capacidade de substituir em parte os fertilizantes químicos na agricultura (MAPA, 2020).

A biodigestão pode sofrer a influência de diversos fatores intrínsecos ao próprio resíduo quanto ao processo. A temperatura e a agitação podem influenciar diretamente o processo. Fatores como pH, alcalinidade e sólidos são determinantes na escolha do substrato, onde cada um pode alterar o processo conforme suas características (CREMONEZ, 2019).

Visando melhorar a degradação da matéria orgânica e o aumento da produção de biogás pode se utilizar da técnica de codigestão, onde o processo de degradação é realizado a partir da combinação de dois ou mais substratos cujas características podem contribuir de forma favorável ao processo.

A análise de sistemas de codigestão visando buscar os melhores parâmetros para que a mesma aconteça pode ser feita com a utilização de modelos de regressões e softwares específicos. Dentre estes modelos, os mais utilizados são modelos não lineares como modelo de Gompertz e logístico (SILVEIRA et al.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho foi realizar a degradação e avaliar o potencial de produção de biogás a partir da codigestão anaeróbia de resíduos animais suínos e bovinos variando as condições operacionais de temperatura e agitação.

1.1.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar a codigestão anaeróbia dos resíduos alimentados com inóculo suíno e bovino, quanto a produção de biogás, remoção de ST e SV.
- b) Caracterizar quantitativamente e qualitativamente o biogás gerado;
- c) Avaliar a cinética de produção de biogás utilizando modelos não-lineares

2 REVISÃO DE LITERATURA

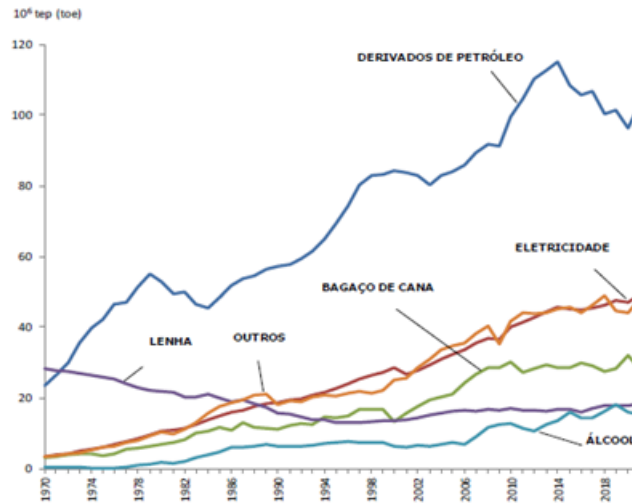
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO ENERGÉTICA

2.1.1 Demanda energética brasileira

Desde o ano de 2016 observa-se um aumento na demanda brasileira de energia nos mais diversos setores, desde moradias a indústrias. Sedo percebido um aumento de 5% neste período, totalizando $287 \cdot 10^6$ TEP (BRASIL, 2022).

Observa-se no GRÁFICO 1 que consumo de energia vem crescendo desde o início das medições realizadas em todas as fontes disponíveis, sendo mais notado no aumento do petróleo e da energia elétrica, os quais são os mais acompanhados diariamente pela população.

GRÁFICO 1 - CONSUMO BRASILEIRO DE ENERGIA FINAL POR FONTE



FONTE: Adaptado de Brasil, (2022).

O consumo final de energia de 2021 ficou em 262,2 Mtep, montante 3,5% superior ao de 2020, e 1,2% inferior ao volume recorde de 265,5 Mtep, verificado em 2014. Deste montante, a energia elétrica foi responsável por 49 Mtep, um aumento de 4,2% se comparado a 2020 (MME, 2022).

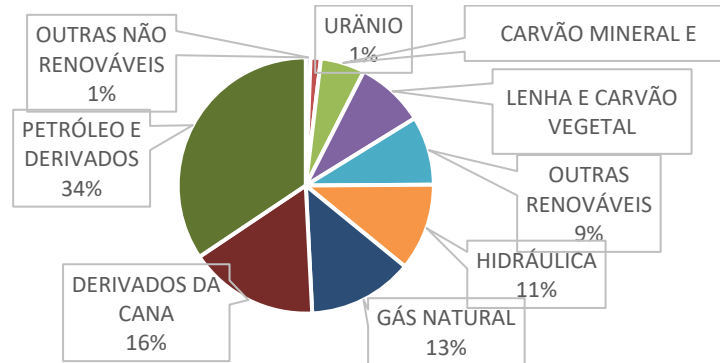
Em 2021, a demanda total de derivados de petróleo ficou em 2.111,5 mil barris equivalentes de petróleo por dia, montante 8,5% superior ao de 2020 (MME, 2022).

Visando evitar a dependência de apenas um modelo de geração de energia é necessário ampliar cada vez mais a matriz energética de modo que em caso de uma fonte passe por problemas as outras possam estar suprindo a demanda necessária.

2.1.2 Matriz energética brasileira

Conforme verificado anteriormente, o consumo de petróleo e gás natural como fonte de energia ainda é a maior demanda brasileira, e representa a maior parcela na matriz energética total, correspondendo a quase 50% conforme o GRÁFICO 2.

GRÁFICO 2 - PRODUÇÃO BRASILEIRA DE ENERGIA PRIMÁRIA POR FONTE

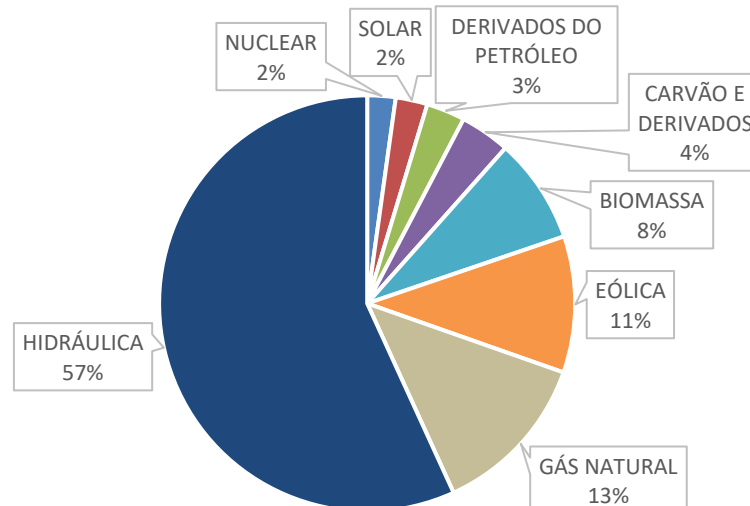


FONTE: Adaptado de Brasil, (2022).

O Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a fonte hídrica que responde por mais de 50% da oferta interna ao se observar o GRÁFICO 3. Dentre as fontes renováveis se destacam a obtida por meio de recursos hídricos e eólicos, que somados correspondem a quase 70% da geração (BRASIL, 2022).

A geração de energia elétrica no Brasil em centrais de serviço público e autoprodutores atingiu 656,1 TWh em 2021, resultado 4% acima de 2020 (BRASIL, 2022).

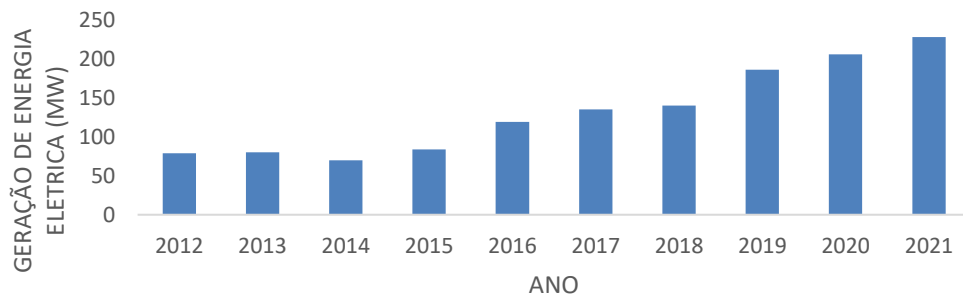
GRÁFICO 3 - OFERTA INTERNA DE ENERGIA ELÉTRICA POR FONTE NO BRASIL



FONTE: Adaptado de Brasil, (2022).

Destaca-se a energia proveniente da biomassa que corresponde a 8,2%, onde a energia gerada pelo biogás saltou de 79 MW em 2012 para quase 250 MW em 2021, como se observa no GRÁFICO 4, sendo esta responsável pela participação de 1,44% de toda a energia que utiliza biomassa para geração (BRASIL, 2022).

GRÁFICO 4 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA UTILIZANDO O BIOGÁS NO BRASIL



FONTE: Brasil, (2022).

Devido à presença majoritária CH_4 em sua composição, o biogás é caracterizado como um gás energético, configurando-se como um biocombustível com grande potencial de expandir a participação das energias renováveis na matriz energética brasileira (ANTUNES, 2019).

2.1.3 Definição de biomassa e sua utilização

O termo biomassa se refere a um vasto campo de materiais, com variadas e infinitas finalidades, podendo ser utilizada como combustível ou até mesmo como matéria prima (ANTUNES, 2019). Biomassa, destinada ao aproveitamento energético, é uma fonte primária de energia, proveniente de recursos naturais que consiste em matéria orgânica de origem animal ou vegetal.

Ela é um recurso natural renovável que pode ser usado para a produção de biocombustíveis sólidos como o carvão vegetal, líquidos como o biodiesel ou gasosos como o biogás a depender da necessidade e utilização (AZEVEDO, 2021).

A biomassa para fins energéticos pode ser classificada nas categorias de: resíduos sólidos urbanos, resíduos da produção animal, resíduos vegetais, resíduos industriais e resíduos florestais (ANTUNES, 2019).

A composição dos substratos oriundos de animais tem características diferentes e apresenta potenciais distintos para produção de biogás. Os dejetos dividem-se em duas categorias, fase líquida e fase seca (ANTUNES, 2019). Contudo, na maioria das vezes estes são adicionados juntos em processos de biodigestão.

2.1.4 Produção suína e bovina no Brasil.

O Brasil está consolidado a alguns anos como um dos maiores produtores de proteína animal do mundo. Neste contexto destacam-se a produção bovina e suína.

A produção bovina teve uma alta de 1,5% em 2020 garantindo a marca de 218,2 milhões de cabeças de gado, segundo maior rebanho da série histórica iniciada em 1974. O estado do Paraná corresponde a 8,6 milhões de animais, onde 1,3 milhões correspondem a pecuária leiteira, responsável pelo terceiro maior rebanho nacional de vacas leiteiras (IBGE, 2021).

O rebanho de suínos cresceu 1,4% em 2020, somando 41,1 milhões de cabeças. Destes a região Sul detém o maior rebanho suíno do país correspondendo com 50,1% do total nacional (IBGE, 2021).

Embora tais atividades contribuam para o desenvolvimento socioeconômico do país, elas podem gerar problemas ambientais (NABACK et al, 2022). Resíduos orgânicos dispostos indevidamente no meio ambiente possuem o potencial de contaminar o solo, a água e o ar (AZEVEDO, 2021).

Segundo Oliveira (1993) a média diária de dejetos produzidos por suínos nos mais diferentes estágios de produção é de 2,35 kg de esterco e 8,6 kg de dejetos líquidos. Enquanto para bovinos a produção é de 12 kg de resíduos sólidos.

A caracterização destes resíduos é essencial quando se buscam formas de realizar o tratamento visando cumprimento das normas ambientais para descarte correto.

Na TABELA 1 podemos observar alguns resultados encontrados na literatura relacionados a estes resíduos.

TABELA 1 - CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SUÍNOS E BOVINOS DE ACORDO COM A LITERATURA

Autor	Resíduo	pH	AT (mgCaCO ₃ /L)	AV (gHAc/kg de substrato)	ST (g/L ou %)	SV (g/L ou %)
Braz (2022)	Suíno	8,41 ± 0,16				
Naback et al., (2022)	Suíno	6,75 ± 0,02	7676,5 ± 86,5	824 ± 4,0		
Amaral et al., (2022)	Suíno	6,98	9000		31,37 g/L	22,05 g/L
Silva et al., (2021)	Suíno				20,38 ± 1,65%	68,15 ± 1,98%
Souza et al., (2009)	Suíno				67 g/L	53,55 g/L
Orrico Jr, Orrico e Lucas Jr (2010)	Suíno				79 ± 1 g/L	64,75 ± 2,95 g/L
Silva (1996)	Suíno				31,05 ± 18,38 g/L	23,5 ± 15,5 g/L
Rodrigues (2022)	Bovino	8,25			13,30%	78,66%
Braz (2022)	Bovino	8,06 ± 0,1				
Naback et al., (2022)	Bovino	6,83 ± 0,13	5992,5 ± 539,5	469,5 ± 169,5	55 g/L	42 g/L
Amaral et al., (2022)	Bovino	6,76	4800		38,99 g/L	30,33g/L

FONTE: O autor, (2022).

Diversas formas de tratamentos destes resíduos vêm sendo estudadas nos últimos anos. Dentre elas, o uso da biodigestão anaeróbia se destaca, pois, além de reduzir o potencial contaminante desses resíduos também oportuniza a recuperação energética por meio do biogás, caracterizando-se como uma ferramenta fundamental para assegurar a qualidade do meio ambiente e contribuir para a segurança energética no país (GUERI et al., 2021; PASQUALINI, 2020).

No Brasil, o uso energético do biogás vem sendo realizado há pelo menos 40 anos, quando foi iniciado a revolução verde nos anos 70 (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022). Contudo, no início devido à falta de mão de obra especializada e conhecimentos técnicos sobre o assunto, este tipo de tratamento acabou sendo rejeitado por agricultores e criadores de animais após a quebra sequente de equipamentos e o abandono pelos responsáveis pelos projetos. Sendo seu crescimento retomado apenas no século XXI.

2.2 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

O processo de degradação de matéria orgânica sem a presença de oxigênio que é chamado de biodigestão anaeróbia. Os gases mais importantes gerados são o metano e gás carbônico. Este é um processo complexo que passa por várias etapas e depende de vários fatores para uma produção bem-sucedida (LUIZ, 2019; FILHO, SANTANA; GATTAMORTA, 2018; AZEVEDO, 2021).

Este processo é considerado uma alternativa eficiente que interliga a gestão sustentável de resíduos e a produção de energia renovável a partir de biomassa (CARDOSO, 2021). Nas últimas décadas, diversos estudos sobre novas tecnologias referentes ao processo têm sido realizados (NABACK et al., 2022).

É uma técnica muito atrativa para realizar o manejo de determinados tipos de resíduos orgânicos, evitando a contaminação ambiental, e ainda gerar gás combustível e fertilizante orgânico que pode ser utilizado com um menor custo pelo próprio produtor rural (AZEVEDO, 2021).

2.2.1 Processo de Biodigestão

A digestão anaeróbia é um processo metabólico complexo que requer a ausência de oxigênio e depende da atividade conjunta de microrganismos para

transformar material orgânico em dióxido de carbono e metano. O processo pode ser dividido em quatro fases, sendo: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL,2022; PERSZEL, 2018).

A hidrólise degrada compostos como os lipídios, polissacarídeos e proteínas em substâncias orgânicas mais simples e solúveis. A importância da etapa de hidrólise na velocidade de degradação é dependente da característica do substrato envolvido (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022; PERSZEL, 2018; PATIL, 2016; ARAUJO, 2017; AZEVEDO, 2021).

Durante a acidogênese os monômeros formados na fase hidrolítica são utilizados como substratos por diferentes bactérias anaeróbias, sendo degradados na fase acidogênica a ácidos orgânicos de cadeia curta (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022; PERSZEL, 2018; PATIL, 2016; ARAUJO, 2017; AZEVEDO, 2021).

A terceira etapa da digestão anaeróbia é conduzida por um grupo de bactérias denominadas acetogênicas. Nessa etapa os ácidos de cadeia longa são transformados em ácidos com apenas um ou dois átomos de carbono, juntamente com a produção de hidrogênio e dióxido de carbono (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022; PERSZEL, 2018; PATIL, 2016; ARAUJO, 2017; AZEVEDO, 2021).

A etapa final, metanogênese, ocorre em condições estritamente anaeróbias. Deste modo, o carbono contido na biomassa é convertido a dióxido de carbono e metano através da ação das arquêas metanogênicas (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022; PERSZEL, 2018; PATIL, 2016; ARAUJO, 2017; AZEVEDO, 2021).

2.2.2 Tipos de Biodigestores

Biodigestores são reatores anaeróbios fechados que, ao serem alimentados com biomassa, degradam a matéria orgânica através da digestão por bactérias anaeróbias (FILHO; SANTANA; GATTAMORTA, 2018; RODRIGUES, 2021). Estes podem ser construídos com os mais diversos materiais, sendo os modelos mais conhecidos o modelo indiano, chinês, canadense e UASB.

Os biodigestores são caracterizados pelo regime de forma de alimentação concentração de sólidos no e sistema de agitação. (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

O modelo a ser selecionado deve atender requisitos, como: condição do local, tipo de matéria orgânica, relação de custo-benefício e se é visado a geração de

energia ou o tratamento dos resíduos (GONÇALVES; RAMALHO, 2021; RODRIGUES,2021).

O modelo indiano é pouco sofisticado e caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, esta pode ficar mergulhada sobre a biomassa ou em um selo d'água externo, com uma parede central dividindo o tanque de fermentação em duas câmaras e proporcionando circulação do material por toda a câmara (LUIZ,2019; FILHO; SANTANA; GATTAMORTA, 2018; ANTUNES, 2019; AZEVEDO, 2021).

O modelo chinês conta com uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, com teto impermeável para armazenamento do biogás. Este usa o princípio onde o aumento de pressão em seu interior, devido ao acúmulo de gás, resulta em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída (LUIZ, 2019; FILHO; SANTANA; GATTAMORTA, 2018; ANTUNES, 2019; AZEVEDO, 2021).

O modelo canadense é horizontal, com uma caixa de entrada em alvenaria. A vantagem é que devido o formato, quase toda a matéria orgânica aproveitará a radiação solar, mantendo alta a temperatura para biodigestão (LUIZ, 2019; FILHO; SANTANA; GATTAMORTA, 2018; ANTUNES, 2019; AZEVEDO, 2021). A falta do sistema de aquecimento implica na variação da temperatura da biomassa em função da temperatura ambiente, isto afetara a capacidade de geração de biogás principalmente em regiões mais frias podendo causar uma interrupção do processo. (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022). Este é o modelo mais comum utilizado em solo brasileiro para tratamento dos resíduos devido a possibilidade de ser construído com um volume superior aos demais e com isso comportam os dejetos de grandes criações de animais. Juntamente disto sua simplicidade de construção e manutenção são atrativos para empresas construtoras e interessados em implantá-los em sua propriedade.

O biodigestor UASB tem como característica o fluxo ascendente do afluente por até o topo do reator, onde há um separador. Estes reatores têm como característica a alta capacidade de retenção de biomassa, o que permite trabalhar com baixo tempo de retenção hidráulica (4 a 72 horas), se comparados a modelos tradicionais que ultrapassam 20 dias. Contudo, o afluente do reator UASB deve apresentar baixa concentração de sólidos totais (<2%). Sendo assim, em sua maioria é necessário realizar um pré-tratamento nos resíduos para serem inseridos no reator. (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022; RODRIGUES, 2021; AZEVEDO, 2021)

Biodigestores UASB são menos encontrados em propriedades rurais para o tratamento de dejetos devido a sua complexidade de funcionamento e custo elevado, sendo mais utilizado em sistemas de tratamento de esgotos e sistemas industriais.

2.2.3 Biogás

O biogás é o gás produzido a partir da decomposição da matéria orgânica por bactérias anaeróbias (OLIVEIRA; CARDOSO, 2022). Este é uma mistura de gases, principalmente CH_4 e CO_2 , além de vapor d'água (H_2O) e outros gases em menor quantidade como: gás sulfídrico (H_2S), monóxido de carbono (CO) e nitrogênio (N_2) (AZEVEDO, 2021).

Dentre os principais contaminantes que afetam o potencial energético do biogás, destacam-se o H_2S , o CO_2 , e amônia (NH_3) (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022). O grau de pureza e a concentração de metano são os principais fatores a serem considerados em termos de geração de energia pelo biogás, pois quanto maior sua porcentagem maior será o poder calorífico do mesmo.

Dos componentes, o metano é o que possui um maior valor comercial, uma vez que pode ser beneficiado para aproveitamento na geração de energia em substituição às fontes energéticas convencionais (CARDOSO, 2021). A presença do CO_2 e do N_2 interfere diretamente no potencial energético do biogás por serem inertes em termos de combustão e ocupar volume (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

A possibilidade de geração de eletricidade a partir de uma matéria prima usualmente não aproveitada, como os dejetos de animais, é atraente. Além disso, a produção de biogás e consequente sua queima transforma o metano em dióxido de carbono, o qual é 23 vezes menos poluente que o CH_4 se este for liberado na atmosfera (OBREGON et al., 2022; ANTUNES, 2019). Seu impacto na atmosfera é sentido diariamente devido a ser um dos principais gases responsáveis pelo aumento do efeito estufa, onde estudos são realizados em diversos países visando a diminuição da geração deste gás na criação de animais.

Dessa forma, entre os métodos de produção de biogás, a biodigestão anaeróbia favorece também o gerenciamento e a destinação adequada de resíduos orgânicos urbanos e agroindustriais (CARDOSO, 2021);

Além da produção do biogás, o resíduo da biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos e suínos podem ser utilizados como digestato (NABACK et al., 2022).

2.2.4 Digestato

O digestato é um composto decorrente do resultado da biodigestão de compostos orgânicos de origem animal e vegetal (SANTOS JUNIOR, 2022). Este é um produto que contém princípio ativo ou agente orgânico, isento de substâncias agrotóxicas, capaz de atuar sobre as plantas cultivadas, elevando a sua produtividade (MAPA, 2020).

Ele é composto por uma mistura de biomassa com material não digerido, além de água e também possui todos os nutrientes contidos no substrato original, principalmente nitrogênio, fósforo e potássio (AZEVEDO, 2021). Estes nutrientes popularmente conhecidos como NPK são os principais utilizados na agricultura brasileira devido a necessidade destes para a produção adequada das culturas de soja e milho.

A adição de matéria orgânica melhora, consideravelmente, as características físicas e biológicas do solo. Os maiores benefícios constatados são: maior disponibilidade de nutrientes às plantas, maior retenção de água e estimulação da atividade biológica (PASQUALINI, 2020; AZEVEDO, 2021). Este poderá ser aplicado em doses adequadas nas áreas agrícolas, suprimindo a demanda por nutrientes das culturas que serão adubadas e evitando a aplicação de fertilizantes químicos (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

2.3 FATORES QUE AFETAM A BIODIGESTÃO

O processo de biodigestão anaeróbia pode ser afetado tanto por variações de condições operacionais, quanto pela estrutura e característica dos materiais orgânicos submetidos a esse processo (CREMONEZ, 2019).

2.3.1 pH, Alcalinidade e acidez

O pH é o parâmetro operacional utilizado para avaliar as condições de acidez e basicidade. A atividade metabólica lenta dos microrganismos metanogênicos faz com que sua adaptação às variações de pH também seja lenta, sendo assim, qualquer variação significativa no pH do substrato pode contribuir negativamente com o processo de biodigestão (CARDOSO, 2021).

Cada grupo de microrganismo tem um valor diferente de pH ótimo. As bactérias metanogênicas são extremamente sensíveis ao pH, com um valor ótimo entre 6,6 e 7,4, contudo, se estabilizam para produção de metano numa faixa mais ampla de pH que pode variar entre 6,0 e 8,0 (RODRIGUES,2021; AZEVEDO,2021).

A acidez volátil indica a concentração de ácidos e mede a capacidade do processo fermentativo anaeróbio em resistir à elevação do pH quando uma base é adicionada. A alcalinidade total indica a concentração de ácidos participantes na fermentação e mede a capacidade do sistema em resistir ao abaixamento do pH quando da adição de ácidos (GUERI et al., 2021; DOMINGUES, 2020).

Diante disso, caso o sistema não ofereça alcalinidade suficiente para as possíveis variações de pH, mostra-se necessária a adição de substâncias alcalinizante para impedir o decaimento de pH por meio de reações de neutralização (CARDOSO, 2021). São comumente utilizados para esta finalidade carbonatos e bicarbonatos, como o bicarbonato de sódio devido a seu baixo custo, facilidade de encontra-lo e alta eficiência para esta situação.

2.3.2 Sólidos Totais e sólidos voláteis

O teor de sólidos presente no efluente a ser tratado afeta consideravelmente o processo de biodigestão (CREMONEZ, 2019). A caracterização dos sólidos em orgânicos (voláteis) ou inorgânicos (fixos) infere a quantidade de material passível de degradação pelas bactérias anaeróbias (SOUZA et al., 2020).

O potencial de geração de biogás é diretamente proporcional à concentração de sólidos voláteis (SV) contidos nela. Os teores de sólidos voláteis caracterizam a fração orgânica de material que pode ser degradado para produzir o biogás (AZEVEDO, 2021). Os sólidos remanescentes após o processo são considerados fixos, caracterizando a fração de sólidos que não são biodegradáveis (CARDOSO, 2021).

O teor de sólidos dos substratos é um fator de suma importância a ser considerado, sendo determinante na opção pelo uso da digestão anaeróbia, principalmente visando a eficiência energética, por meio da geração de biogás e sua posterior queima (HASAN et al., 2019).

2.3.3 Temperatura

A temperatura é um dos fatores mais importantes na digestão anaeróbia de pois afeta os processos biológicos de diferentes maneiras, podendo em determinados casos cessar o processo de degradação ou elevar seu potencial ao máximo.

Dependendo da temperatura que o processo está acontecendo dentro do biodigestor, o tratamento de resíduos orgânicos é basicamente de três tipos: psicrófilico que ocorre abaixo de 20 °C, mesófilico que ocorre entre 20 e 45 °C e termófilico com temperatura entre 45 e 60°C (PASQUALINI, 2020). Conforme a faixa de temperatura escolhida, diferentes espécies de bactérias serão responsáveis pela degradação da matéria orgânica dentro do biodigestor.

Temperaturas elevadas podem proporcionar uma maior eficiência do processo de digestão, mas é fundamental que a temperatura seja constante, devido à sensibilidade dos organismos a mudanças bruscas de temperatura (RODRIGUES, 2021). Pequenas variações de temperatura (da ordem de 3 °C) podem afetar consideravelmente e até cessar o processo de biodigestão (CREMONEZ, 2019).

No Brasil os biodigestores são projetados em sua grande maioria para operar na faixa mesófilica, pois essas temperaturas são as próximas à temperatura ambiente em grande parte do território durante o ano todo, o que elimina a necessidade de sistema de aquecimento e reduz os custos operacionais (RODRIGUES, 2021).

Em caso de necessidade de aquecimento do biodigestor, algumas formas para isto são: aquecimento do substrato antes da entrada no biodigestor, aquecimento do substrato dentro do biodigestor por meio de uma serpentina elétrica, e por fim, a recirculação do substrato após ser aquecido por um sistema externo ao biodigestor.

2.3.4 Agitação

A importância da agitação adequada tem como função revolver o substrato de modo que todo ele este homogêneo e passível de degradação.. A agitação também colabora para eliminação de crostas e otimiza a liberação do biogás presente no substrato (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022; AZEVEDO,2021).

Uma agitação muito intensa por longos períodos pode ocasionar problemas de formação espuma podendo afetar a liberação do biogás do biodigestor. A agitação insuficiente implicará na separação de fases no biodigestor podendo levar uma queda

drástica da produção devido a formação de zonas mortas ou curto-circuito. (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022; AZEVEDO,2021).

As tecnologias de agitação podem ser divididas em mecânica, hidráulica ou pneumática. A agitação hidráulica ocorre com a recirculação do substrato no interior do biodigestor por meio de bombas hidráulicas localizadas na parte interna ou externa do reator. A agitação pneumática é estabelecida em função da injeção de biogás, causando um movimento do substrato pela subida vertical do biogás. A agitação mecânica é a mais utilizada nas plantas de biogás e é realizada por meio de agitadores mecânicos movidos por motores que acionam pás dentro do reator responsáveis pela agitação do substrato (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022; AZEVEDO,2021).

2.3.5 Tempo de retenção hidráulica (TRH)

O Tempo de Retenção Hidráulica é compreendido como o tempo necessário para que o substrato passe completamente pelo biorreator, em outras palavras é o tempo contabilizado a partir do momento da entrada do substrato até o momento em que o mesmo sai pelo outro ponto do biodigestor, onde espera-se que a matéria orgânica tenha sido completamente degradada (CREMONEZ, 2019; DOMINGUES, 2020).

O TRH deve ser suficientemente longo para possibilitar o completo desenvolvimento dos microrganismos. TRH curtos favorecem a lavagem da biomassa, provocando baixa produção de biogás um digestato parcialmente degradado. (AZEVEDO, 2021)

Segundo Matos et al., (2019) diferentes TRH interferiram nos valores de pH e nos conteúdos de SV. Os potenciais de produção de biogás e de metano por kg de ST e SV adicionados foram superiores conforme ocorreu acréscimo do TRH (ORRICO JUNIOR; ORRICO; LUCAS JUNIOR,2009).

2.3.6 Tipo de inóculo

A relação Resíduo/Inóculo é um importante parâmetro a ser adotado no processo de degradação anaeróbia (PEREIRA et al., 2021).

O inóculo é um composto retirado do interior de biodigestores que passam ou já passaram pelo processo de biodigestão, fazendo com que se acelere a adaptação

do novo processo (CARDOSO, 2021). São comumente utilizados para esta finalidade lodo de estação de tratamento de esgotos e efluente de biodigestores alimentados com dejetos suínos. (PALLO-CHANGO; ZAMBRANO-GAVILANES; PONCE-SALTOS, 2021; PIRES et al., 2021) O ideal, segundo Pereira et al., (2021) é utilizar como inóculo algo oriundo de um sistema similar ao que se pretende inocular.

De acordo com Bortolini et al., (2020) a escolha do inóculo deve ser feita levando em conta o objetivo da biodigestão anaeróbia, se for a produção de biogás ou digestato deve-se optar pelo mais adequado para cada situação. A escolha do inóculo para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos é de extrema importância pois possibilita o aumento na eficiência do processo resultando em maior produção de biogás (SANTANA; CARVALHO; CALLADO, 2021).

A grande vantagem da sua utilização é a redução do tempo de partida e alcance mais rápido do período de estabilização do biodigestor com produção normal de biogás (DORNELAS et al., 2021).

2.4 CODIGESTÃO ANAERÓBIA

Em sistemas de biodigestão que utilizam apenas um substrato como matéria orgânica pode ocorrer a diminuição da produção devido a diversos fatores (KRIEGER et al., 2021; DUPONT, 2021; DOMINGUES, 2020)

Diante disso, uma metodologia para melhorar a atuação microbológica na biodigestão anaeróbia é a codigestão, processo que viabiliza melhores condições para promover uma maior eficiência do processo (CARDOSO, 2021; LEITE et al., 2017; ARAUJO, 2012).

A codigestão é um processo de degradação simultânea de dois ou mais substratos e reflete no aumento da produção de metano (ALVES, 2015; FERREIRA, 2021; DOMINGUES, 2020).

2.4.1 Impactos

Desde a década de 2000 houve um aumento considerável de trabalhos sobre a utilização de resíduos no processo de codigestão anaeróbia, em especial para a produção de biogás visando à geração de energia (ARAUJO, 2012). Nos últimos anos existe enorme interesse pela codigestão anaeróbia visando a produção de biogás com

o aumento da eficiência do processo e melhorias operacionais (KITAMURA et al., 2022).

Para otimizar o processo deve-se buscar resíduos que estejam próximos uns aos outros evitando um custo elevado com o transporte do mesmo a ponto de não inviabilizar o funcionamento. A codigestão de diferentes dejetos de animais vem sendo estudada e aplicada principalmente em fazendas onde existem a criação destes.

As características dos substratos utilizados têm grande influência nos aspectos tecnológicos e de operação dos sistemas anaeróbios bem como, na qualidade do biogás e do digestato gerado (ALVES, 2015). Dentre as possíveis biomassas disponíveis para a codigestão com o dejetos suíno estão os dejetos da bovinocultura e avicultura, cujas criações podem ser encontradas muitas vezes próximos a criações de suínos.

Dentro os aspectos positivos podemos citar a melhora da taxa cinética, ou seja, os compostos orgânicos são degradados mais rapidamente (FERREIRA, 2021). Juntamente disto temos o aumento da produção de metano ocasionado pela maior degradação da matéria orgânica (ALVES, 2015). Ela também permite que compostos considerados individualmente tóxicos para a microrganismos anaeróbios possam ser diluídos a concentrações inferiores às que causam inibição ao processo (ADARME, 2020).

Além disso, a codigestão favorece um processo de digestão mais estável, devido a possuir uma comunidade microbiana mais diversificada (FERREIRA, 2021). Outras vantagens do processo são a redução das emissões de gases de efeito estufa e odores, e diminuição dos custos do processo relacionado com o aumento do rendimento do sistema (DOMINGUES, 2020).

2.4.2 Estudo de caso 1 – Granja Haacke

A Granja Haacke, localizada na cidade de Santa Helena, estado do Paraná é um exemplo de geração de energia elétrica por meio do biogás no Brasil (MACHADO, 2019).

A estrutura de propriedade do senhor Nilson Haacke acomoda a criação confinada de, aproximadamente, 84.000 aves poedeiras e 800 bovinos de corte. Todo o dejetos que, anteriormente, era descartado de forma inadequada passou a ser encaminhado a um biodigestor modelo lagoa aberta para obtenção de digestato,

geração de energia elétrica local e produção de biometano (SANTOS, 2016). O biogás é purificado na propriedade através de um filtro, separando o gás carbônico e o gás sulfídrico, garantindo um grau de pureza de 98% de biometano (MULLER, 2018).

O digestato gerado é aplicado por meio de fertirrigação nas lavouras da propriedade, enquanto o biometano é envasado em destinado como combustível veicular na Usina de Itaipu (SANTOS, 2016).

A Granja Haacke, em parceria com a New Holland, também utiliza, desde o final de 2016, um trator movido a biometano com motor do protótipo T6, que possui capacidade de armazenar 300 litros de biometano, gerando uma economia de até 40% em combustível e emite 80% menos gás carbônico em comparação com o mesmo modelo a diesel (MULLER, 2018).

2.4.3 Estudo de caso 2 – Usina Biokholer

A usina Biokholer localizada no interior do município de Toledo conta com um tanque de recebimento, um biodigestor CSTR de 900 m³, seguido de um biodigestor lagoa coberta (BLC) com 2.500 m³. Nesta usina são utilizados como substratos dejetos de suínos, bovinos de leite e aves de postura (AMARAL et al., 2021).

O biodigestor CSTR é operado continuamente, com sistema de agitação e aquecimento. O digestato é utilizado nas propriedades rurais vizinhas à usina, suplementando NPK em lavouras de soja e milho (AMARAL et al., 2021).

O biogás produzido é aerado dentro do próprio biodigestor para eliminação de H₂S. Na sequência ocorre a retirada de umidade por criogenia a 4 °C, seguido de filtragem em carvão ativado. O biometano é utilizado na geração de energia elétrica, com um moto gerador de 120 kVA, conectado à rede de distribuição (AMARAL et al., 2021).

A construção deste sistema e sua operação só foi possível devido a presença de diferentes criações de animais em um raio pequeno da usina, tendo uma distância de menos de 2 quilômetros para buscar os dejetos de suínos e bovinos, com apenas as aves de postura estarem localizadas a uma distância maior.

Juntamente disto foi dado um destino adequado aos resíduos que antes eram descartados de forma inadequada, e hoje após o processo são destinadas as lavouras

dos próprios criadores dos animais aumentando a produtividade sem custos adicionais para os mesmos.

2.5 MODELOS NÃO LINEARES

Os métodos de regressão são utilizados quando em uma análise de dados se deseja descrever a relação entre uma variável resposta e uma ou mais variáveis explanatórias. Segundo Mazucheli e Achcar (2002) um modelo de regressão é considerado não-linear se pelo menos um dos seus parâmetros aparecem de forma não-linear.

Modelagem matemática é a área que estuda maneiras de desenvolver e implementar modelos matemáticos de sistemas reais (QUEIROZ, 2003). Modelos matemáticos e técnicas estatísticas têm sido utilizados em processos de codigestão por forma a descrevê-los e a auxiliar na obtenção de parâmetros que descrevem o processo de um determinado substrato (MORREIRA, 2021).

O primeiro modelo reconhecido foi desenvolvido em 1798 pelo matemático Thomas Robert Malthus onde descrevia o crescimento de populações pequenas sendo que a taxa de crescimento era proporcional à própria população, contudo devido a não possuir em seu modelo uma variável que limitasse seu crescimento infinitamente não é aplicável a realidade. (SOUZA; SILVA FILHO, 2019; IBARRA, CARRILLO; VERA, 2016).

2.5.1 Modelo logístico

O modelo de Malthus foi aperfeiçoado no século XIX por Verhurst em estudos sobre o crescimento das populações e as reações químicas no curso de autocatálise resultando no modelo conhecido como modelo logístico (SILVEIRA et al., 2021). O modelo de Verhurst é uma evolução do modelo de Malthus já que prevê variáveis que Malthus não considerava (MAGALHÃES; LEITE, 2012).

Este modelo supõe que uma população deverá crescer até um limite máximo devido a inibições naturais em seu crescimento (MAGALHÃES; LEITE, 2012). No caso da codigestão anaeróbia a produção de biogás e o crescimento de microrganismos tende a crescer enquanto houver matéria orgânica para ser degradada.

O modelo logístico vem sendo estudado a muitos anos com diversas aplicações conhecidas. Bonatto et al., (2021) utilizaram tal modelo para analisar a influência de partículas de prata na degradação de matéria orgânica. Silveira et al., (2021) fizeram uso do modelo logístico para avaliar fatores de risco associados a hipertensão arterial. Carmo (2022) utilizou este modelo avaliar a aplicabilidade em estudos de atividade metanogênica específica, cinética de processos do estado sólido e na modelagem de casos acumulados de COVID-19 no Brasil. Em seu artigo Fernandes et al., (2020) demonstra passo a passo como utilizar este modelo em diversas situações.

Apesar de não possuir muitos estudos sobre a aplicabilidade deste no modelo no processo de codigestão anaeróbia como o modelo de Gompertz ele foi utilizado com sucesso em diferentes áreas o que demonstra uma capacidade de ajustes nas mais diferentes condições.

2.5.2 Modelo de Gompertz modificado

O modelo Gompertz pode ser definido como um modelo que fornece informações importantes no estudo de fenômenos de crescimento populacional. Este foi criado por Benjamin Gompertz ao estabelecer uma melhora no modelo estabelecido por Malthus (IBARRA; CARRILLO; VERA, 2016; SOUZA; SILVA FILHO, 2019)

O modelo de Gompertz Modificado pressupõe que a produção de biogás seja proporcional à atividade microbiana (KRIEGER et al., 2021) Este utiliza uma taxa de inibição da variável de estado proporcional ao logaritmo desta variável. Isto significa que a taxa de crescimento é alta no início do processo, mas com o passar do tempo sua taxa diminui consideravelmente (MAGALHÃES; LEITE, 2012).

A estimativa dos parâmetros cinéticos obtidos por meio do modelo modificado de Gompertz permite aplicações práticas significativas nos métodos de tratamento de resíduos visando sua degradabilidade (PEREIRA et al., 2019).

Huaman et al., (2021) utilizou o modelo de gompertz modificado para avaliar a produção de biogás em ensaio batelada de efluentes industriais de farinha e óleo de peixe. Santana, Carvalho e Callado (2021) avaliaram a produção acumulada de metano com o mesmo método. Santos et al., (2019) avaliou a biodigestão de dejetos bovinos sob diferentes diluições e fez uso deste mesmo método para validação de

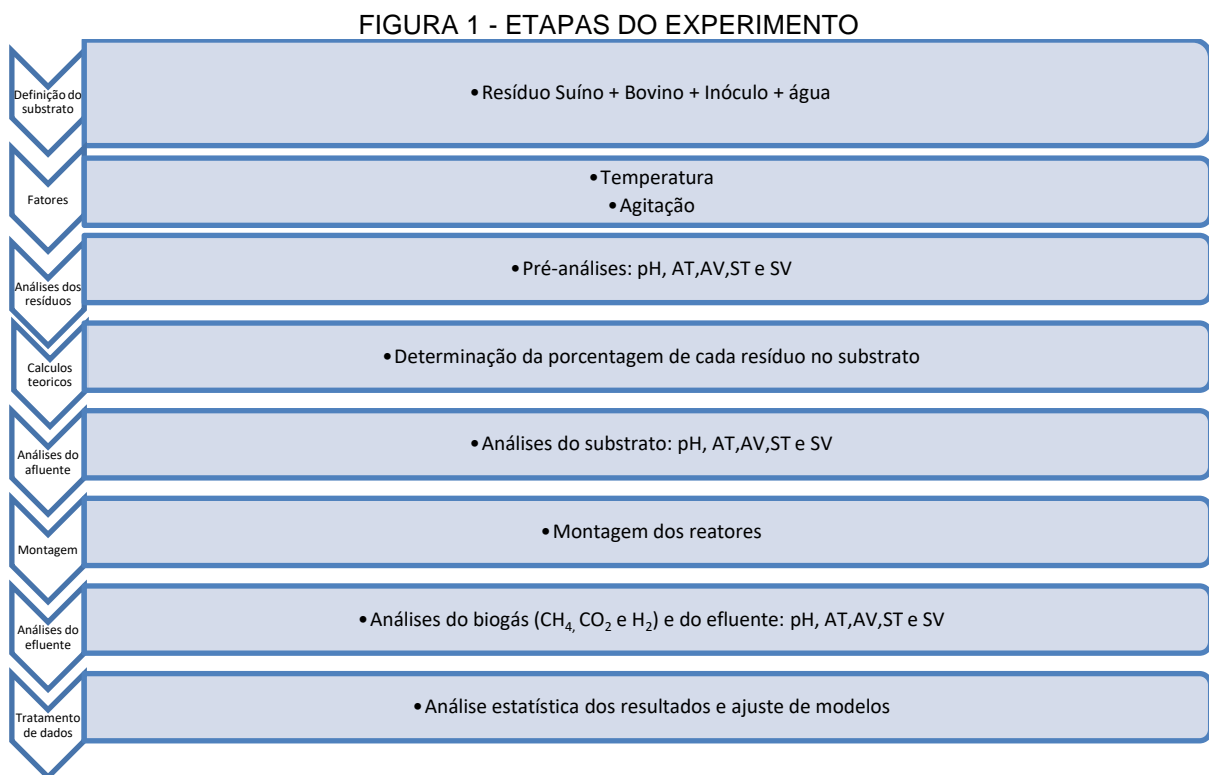
seus resultados de produção de biometano. Vieira (2021) ao avaliar a produção de biogás proveniente da biodegradação de resíduos da produção de cogumelos utilizou o modelo de Gompertz modificado em seu trabalho. Bochi et al., (2019) utilizou o modelo de gompertz em seu estudo sobre a degradação da vinhaça em condições anaeróbias.

Com isso observamos que este modelo pode ser utilizado para avaliar os mais diversos substratos utilizados na codigestão anaeróbia, possuindo diversos estudos a seu respeito que embasam os resultados obtidos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado no laboratório de produção de biocombustíveis (LPB) da UFPR com a utilização do cromatografo do Laboratório de Materiais e Energias Renováveis também da UFPR.

As etapas envolvidas no desenvolvimento deste trabalho estão sumarizadas na Figura 1.



FONTE: O autor, (2022).

3.1 SUBSTRATO UTILIZADO NO TRABALHO

O presente trabalho utilizou como substratos, dois diferentes resíduos obtidos em propriedades rurais no município de Toledo-PR. Substratos de suínos e bovinos foram empregados no processo de codigestão anaeróbia. Estes estiveram misturados com inóculo obtido de um biodigestor modelo canadense localizado na cidade de Palotina-PR, o qual utiliza como substrato dejetos suínos.

3.2 CARACTERIZAÇÃO DO SUBSTRATO, EFLUENTE E BIOGÁS

Os substratos e os efluentes do processo de codigestão foram caracterizados de acordo com os parâmetros compilados na TABELA 2. A análise da composição do biogás foi realizada na Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina. Os constituintes do biogás (H_2 , CO_2 e CH_4) foram determinados por cromatografia gasosa em sistema Micro CG QMICRO-201991017-14 equipado com colunas Plot MS5A(Molecular Sieve 5A) e BondU(divinylbenzene type U). O Hélio 99,99% foi utilizado como gás de arraste e a detecção foi realizada em nano detector TCD.

TABELA 2 - PARÂMETROS E METODOLOGIAS EMPREGADAS NO EXPERIMENTO

Parâmetro	FONTE
pH	4500-H* / APHA, 1995
Temperatura (T)	SILVA, 1977
Sólidos totais (ST)	2540-B / APHA, 1995
Sólidos voláteis (SV)	2540-E / APHA, 1995
Sólidos fixos (SF)	2540-E / APHA, 1995
Acidez volátil (AV)	SILVA, 1977
Alcalinidade total (AT)	SILVA, 1977
Alcalinidade parcial (AP)	SILVA, 1977
Alcalinidade intermediária (AI)	SILVA, 1977
Cromatografia Gasosa (CG)	PENTEADO, 2013

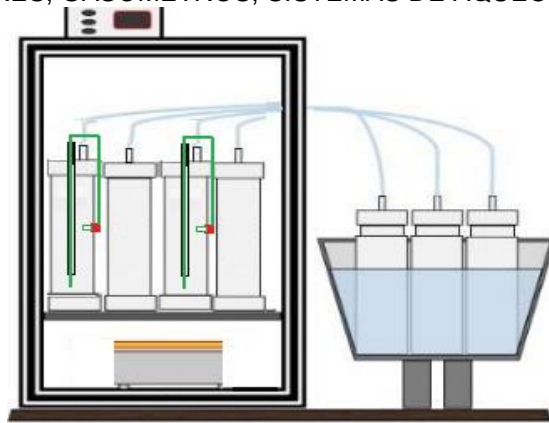
FONTE: O autor, (2022).

3.3 BIODIGESTORES

Para a condução do processo de digestão anaeróbia, empregaram-se 8 reatores com operação batelada de escala laboratorial confeccionados em material

Policloreto de Vinila (PVC) com dimensões de 500 mm de altura e 100 mm de diâmetro, com volume total de 4,00 L. O volume útil estipulado para o desenvolvimento do experimento foi de 3,20 L, mantendo-se o volume morto de 20% do reator, de modo a evitar que uma possível formação de espuma causasse refluxo na saída do coletor de gás. Observa-se na FIGURA 2 a representação do sistema completo com os reatores e gasômetros.

FIGURA 2 - REATORES, GASÔMETROS, SISTEMAS DE AQUECIMENTO E AGITAÇÃO



FONTE: O autor, (2022).

3.3.1 Sistema de controle de temperatura

Os reatores foram mantidos duas incubadoras com um aquecedor A1-01 Ventisol em cada, mantendo uma temperatura média de 35 °C para uma incubadora contendo 4 destes reatores e outra incubadora a 45 °C contendo outros 4 reatores em testes mesofílicos. As incubadoras foram confeccionadas com casco térmico e termostato digital RT-607E PLUS para o controle da temperatura e definição de set-point.

3.3.2 Sistema de controle de agitação

A agitação hidráulica ocorre com a recirculação do interior do biodigestor por meio de uma bomba hidráulica localizada na parte externa do reator. Para tal, utilizou-se uma bomba de limpador de para-brisa de automóvel ligada a uma fonte 12V e 30A, com uma vazão de 72 L/h.

A parte responsável pela aspiração do substrato consiste em uma mangueira que foi inserida a uma altura de 35 cm do reator de modo a não comprometer a funcionalidade do sistema caso o nível do substrato diminua durante o processo de bombeamento. Introduziu-se um cano de PVC de 20 mm no centro do reator pela parte superior de modo que por dentro deste passe uma mangueira de 6 mm que seja o retorno do substrato. A parte superior deste cano foi preso com o auxílio de flanges na tampa superior do reator de modo a evitar o escape de biogás e facilitar a montagem. O tempo utilizado para recirculação foi de 10s a cada três horas totalizando 0,2L por acionamento.

3.3.3 Sistema de coleta de Biogás

Os gasômetros foram confeccionados a partir do mesmo material dos reatores, com dimensões de 500 mm de altura por 75 mm de diâmetro, apresentando volume útil de aproximadamente 2,20 L.

Todos os gasômetros foram imersos em recipiente contendo solução salina acidificada de forma que a partir do deslocamento da tubulação de PVC determina-se o volume ocupado pelo biogás. A solução contendo 25% (v/v) de cloreto de sódio e 3% (v/v) de ácido sulfúrico tem a função de evitar o escape do biogás e impedir a dissolução do CO₂ presente no gás (CREMONEZ., 2019).

O volume de biogás gerado nos biodigestores foi quantificado pela medição do deslocamento vertical dos gasômetros e posterior correção para Condições Normais de Temperatura e Pressão (CNTP).

3.4 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

Um modelo fatorial 2², que se encontra na TABELA 3, foi adotado como delineamento experimental, que resultou na montagem de dois reatores com agitação e dois sem agitação. Onde dois foram mantidos em uma temperatura de 35 °C e dois em 45 °C. Para parâmetros de comparação ambos os processos foram realizados em duplicatas totalizando assim 8 reatores.

TABELA 3 - FATORIAL DE TEMPERATURA E AGITAÇÃO

Experimentos	Variáveis codificadas		Variáveis decodificadas	
	Agitação	Temperatura	Agitação	Temperatura
1	+1	-1	Sim	35 °C
2	+1	-1	Sim	35 °C
3	-1	-1	Não	35 °C
4	-1	-1	Não	35 °C
5	+1	+1	Sim	45 °C
6	+1	+1	Sim	45 °C
7	-1	+1	Não	45 °C
8	-1	+1	Não	45 °C

FONTE: O autor, (2022).

Determinados os resultados para as variáveis dependentes analisadas (pH, Alcalinidade total, Acidez Volátil, AV/AT, remoção de sólidos totais e voláteis, produção de biogás e rendimento). Com a utilização do software Statistic ajustou-se o modelo de regressão na Análise de Variância (ANOVA) do modelo para correlacionar os níveis das variáveis respostas. Os modelos foram avaliados ao nível de 5% de significância e valor do “p” e R². Juntamente disto foram obtidas superfícies de resposta e os gráficos de Pareto que demonstram a influência das variáveis independentes (temperatura e agitação) nas citadas anteriormente. Testes de pressuposições de modelos com a utilização de gráficos de dispersão de erros e normalidade também foram realizados.

3.5 CINÉTICA DE PRODUÇÃO ACUMULADA DE BIOGÁS

Os dados da produção acumulada de biogás nos tratamentos testados serão modelados a partir das equações de Gompertz modificada (EQUAÇÃO 1) e Logístico (EQUAÇÃO 2).

Trabalhos anteriores utilizaram estes modelos não lineares para descrever essa relação em diferentes situações, desde análise da produção do biogás a composição de substratos utilizados em biodigestores (SILVEIRA et al., 2018)

$$M(t) = A * \exp \left[- \exp \left(\frac{\mu_{max}}{A} e(\lambda - t) + 1 \right) \right] \quad (1)$$

$$M(t) = \frac{A}{1 + \exp\left(\frac{4\mu_{max}}{A}(\lambda - t) + 2\right)} \quad (2)$$

Onde:

M = Produção de biogás acumulada observada (L);

P = Produção de biogás final (L);

R = Taxa de produção de biogás obtida (L/ DIA);

λ = tempo da fase lag (DIA);

t = Tempo de observação (DIA);

e = Exponencial.

O desempenho do modelo foi avaliado pela utilização do coeficiente de determinação R².

4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

Primeiramente foram realizadas as análises mencionadas anteriormente nos substratos separados e no inóculo para determinar a quantidade de cada substrato na composição final de cada experimento. Os resultados obtidos encontram-se na TABELA 4.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS E FORMULAÇÃO DO SUBSTRATO

Conforme observado a quantidade de sólidos presentes no dejetos bovino superou o dejetos suíno em 4 vezes, o que é comum com estes animais, devido ao dejetos bovino não conter a urina que está presente nos dejetos suínos que acabam por diluir os sólidos presentes nos mesmos.

4.1.1 Resíduo Suíno

Os resíduos suínos foram obtidos em uma propriedade que possuía um sistema de engorda associada a uma agroindústria.

Conforme observa-se na TABELA 4 os resultados estão próximos aos encontrados pela literatura conforme a TABELA 1, sendo os valores de AV/AT um pouco acima do ideal para um bom tamponamento durante a codigestão. Este e um

dos motivos de adicionarmos resíduos bovinos, que possuem uma menor relação sendo capazes de manter o pH em equilíbrio.

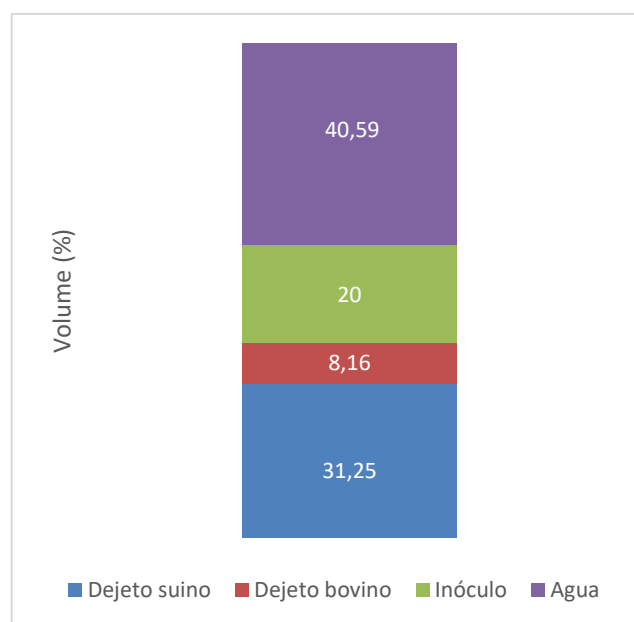
4.1.2 Resíduo Bovino

A análise dos resíduos bovinos provenientes de uma criação não comercial resultou em dados semelhantes aos encontrados na literatura ao analisarem resíduos de diferentes manejos.

Os valores encontrados na literatura conforme a TABELA 1 para pH e sólidos estão próximos aos obtidos neste trabalho. Destacando que a quantidade de sólidos presentes nos resíduos pode ser alterada a depender do modo de criação dos animais e da forma de limpeza dos locais onde se encontram. No caso dos suínos caso as baias de criação sejam lavadas com muita frequência ocorre a diluição destes resíduos ocasionando na diminuição destes sólidos.

De acordo com as análises iniciais determinou-se a quantidade de cada resíduo no substrato utilizado. Para isso optou-se por adicionar a mesma quantidade de ST de cada resíduo no substrato, sendo adicionados 43,86g de ST de cada resíduo. Foram adicionados também 20% de inóculo e completado com água, o que resultou nas quantidades expressas no GRÁFICO 5.

GRÁFICO 5 - COMPOSIÇÃO DO SUBSTRATO



FONTE: O autor, (2022).

Observa-se na TABELA 4 os valores das características do substrato antes do início do processo de codigestão. Nota-se valores próximos aos ideais para um processo de codigestão anaeróbia, onde o pH está dentro da faixa de neutralidade e a relação AV/AT encontra-se próximo a 0,5, e espera-se que com a degradação dos substratos esta relação diminua

TABELA 4 - ANÁLISES QUÍMICAS PARA OS RESÍDUOS E O SUBSTRATO

	RESÍDUO SUÍNO	RESÍDUO BOVINO	INÓCULO	SUBSTRATO
pH	6,63 ± 0,1	7,98 ± 0,01	7,37 ± 0,21	6,88 ± 0,02
AP (mgCaCO ₃ /kg de substrato)	1400 ± 163	3500 ± 500	2400 ± 432	1300 ± 100
Al (mgCaCO ₃ /kg de substrato)	4267 ± 340	2000 ± 1000	867 ± 94	2100 ± 100
AT (mgCaCO ₃ /kg de substrato)	5667 ± 189	5500 ± 500	3267 ± 499	3400 ± 0
AV (gHAc/kg de substrato)	6480 ± 180	2550 ± 150	520 ± 29	2520 ± 60
AV/AT	1,14 ± 0,03	0,46 ± 0,02	0,16 ± 0,03	0,74 ± 0,02
ST(g/L ou g/kg)	43,8 ± 11,02	168 ± 1,91	6,72 ± 2,46	28,75
STF(g/L ou g/kg)	9,02 ± 0,45	34,89 ± 1,39	3,15 ± 1,33	6,29
STV (g/L ou g/kg)	34,84 ± 10,58	133,07 ± 0,98	3,58 ± 1,14	22,46

FONTE: O autor, (2022).

O processo de codigestão foi realizado totalizando 40 dias de experimento. A final do mesmo o efluente gerado foi submetido aos testes mencionados anteriormente para verificar processo de codigestão dos substratos.

4.2 PH E ALCALINIDADE

Valores de pH próximos a neutralidade demonstrados na TABELA 5 indicam que ocorreu um bom processo de codigestão. Caso estes valores estivessem muito abaixo poderia ter ocorrido uma acidificação acima do esperado resultando na interrupção do processo. Nota-se também um ligeiro aumento em relação ao pH inicial

causado possivelmente pelo consumo dos ácidos existentes no substrato durante o processo de acetogênese e metanogênese. A relação AV/AT sofreu uma grande baixa demonstrando que o processo ocorreu conforme o esperado.

TABELA 5 - VALORES DE PH E ALCALINIDADE DO SUBSTRATO E DO DIGESTATO

EXPERIMENTO	pH	AT (mgCaCO ₃ /kg de substrato)	AV (gHAc/kg de substrato)	AV/AT
INICIAL	6,88 ± 0,02	3400 ± 0,00	2520 ± 60	0,74 ± 0,02
EXPERIMENTO 1	7,64 ± 0,02	4100 ± 100	450 ± 30	0,11 ± 0,00
EXPERIMENTO 2	7,65 ± 0,00	4300 ± 300	600 ± 180	0,14 ± 0,03
EXPERIMENTO 3	7,58 ± 0,01	4300 ± 300	720 ± 60	0,17 ± 0,00
EXPERIMENTO 4	7,23 ± 0,28	4100 ± 100	630 ± 30	0,15 ± 0,01
EXPERIMENTO 5	7,73 ± 0,09	3900 ± 300	480 ± 120	0,12 ± 0,02
EXPERIMENTO 6	7,83 ± 0,03	3800 ± 200	330 ± 30	0,09 ± 0,01
EXPERIMENTO 7	7,95 ± 0,02	3900 ± 100	300 ± 0	0,08 ± 0,00
EXPERIMENTO 8	8,01 ± 0,06	3900 ± 100	330 ± 30	0,08 ± 0,01

FONTE: O autor, (2022).

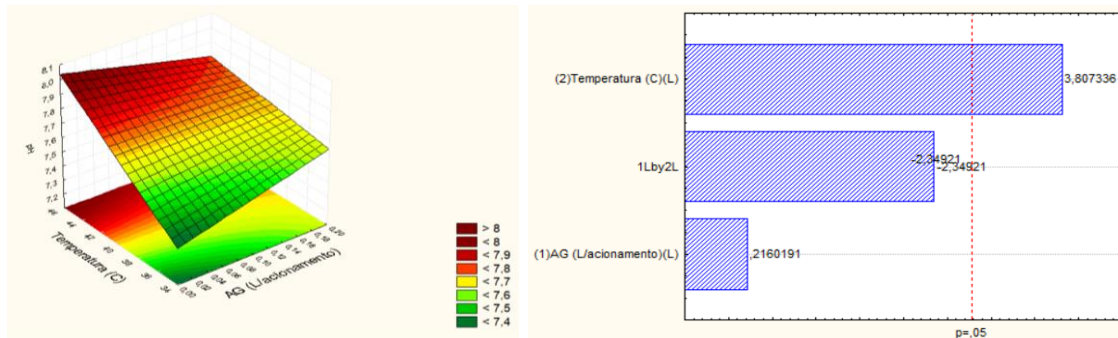
Conforme a FIGURA 3 podemos observar que apenas a temperatura foi influente nos valores de pH encontrados, enquanto o fator de agitação não resultou em mudanças significativas dos valores. Conforme a temperatura aumenta os valores de pH aumentam proporcionalmente. Por isso deve-se evitar uma temperatura elevada, pois o aumento do pH pode levar a um acúmulo de íons carbonato causando a interrupção do processo (ARAUJO,2017).

Para análises estatísticas sempre se busca um modelo de regressão com o maior grau de confiabilidade possível, que pode ser medido pelos valores do coeficiente de determinação (R^2) e pelo “p” valor.

O coeficiente de determinação expressa a proporção da variação de uma medida que é explicada pela variação de outra. Um coeficiente de regressão acima de 0,95 indica que 95% dos resultados encontrados estão de acordo com o modelo analisado. Enquanto o valor-p for menor que 0.05, devemos rejeitar a hipótese nula de que não há diferença entre as médias e concluir que existe uma diferença significativa. Se o valor-p for maior que 0.05, não é possível concluir que existe uma diferença significativa.

O modelo do pH em função da agitação (AG) e temperatura (T) ilustrado na figura 3 (lado esquerdo) apresentou R^2 superior a 0,8. No lado direito da mesma figura, o gráfico de Pareto revela que a temperatura teve um influência significativa nos resultados. Juntamente disto, pode-se notar que o “p” valor encontra-se abaixo de 0,05 e com isso podemos considerar estes dados relevantes e significativos.

FIGURA 3 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (LADO ESQUERDO) E GRÁFICO DE PARETO (LADO DIREITO) PARA O PH



$$\text{pH} = 5,42 + 8,8 * \text{AG} + 0,06 * \text{T} - 0,22 * \text{AG} * \text{T} \quad F_{\text{cal}} = 14,49; R^2 = 0,83; p = 0,019$$

FONTE: O autor, (2022).

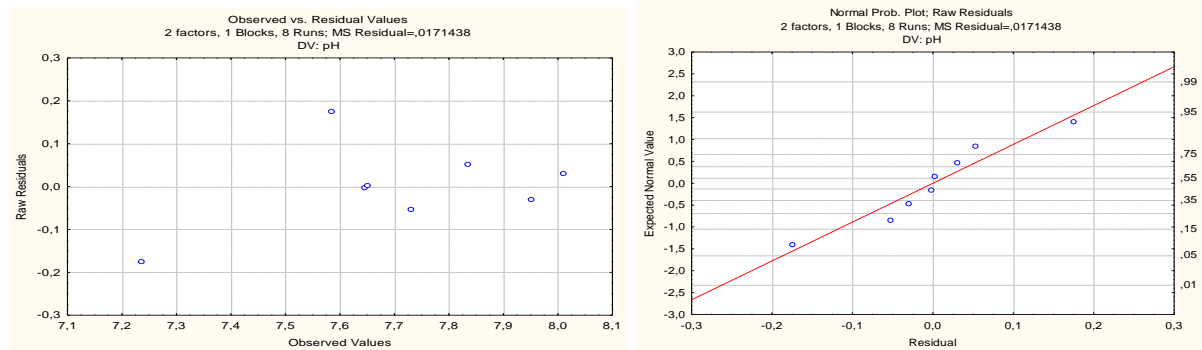
A verificação da distribuição dos resíduos de um modelo é utilizada para determinar se houve um padrão que não deveria ocorrer, o que demonstraria que os resultados foram afetados negativamente por alguma variável.

Os pontos do gráfico devem distribuir-se de forma aleatória em torno do eixo que corresponde ao resíduo zero. Dessa forma, será de esperar que os erros sejam independentes, de média nula e de variância constante.

Conforme a FIGURA 4 é possível notar que não há uma similaridade entre os erros, sendo estes distribuídos de forma aleatória.

Juntamente da dispersão dos resíduos é importante analisar a normalidade. Se os resíduos se posicionarem de maneira a formar uma reta, tem-se evidência de normalidade dos mesmos, se não, tem-se evidência de falta de normalidade. Conforme observado, a distribuição dos pontos segue uma linha reta demonstrando que a distribuição normal parece ser um bom ajuste para os dados analisados.

FIGURA 4 - DISPERSÃO DOS RESÍDUOS (LADO ESQUERDO) E NORMALIDADE (LADO DIREITO)



FONTE: O autor, (2022).

Na TABELA 6 estão colocados alguns valores encontrados na literatura, e como mencionado anteriormente os valores obtidos neste experimento estão próximos a estes. Os autores mencionados na referida tabela realizaram experimentos com as mais diferentes proporções de substratos suínos e bovino. Como foi citado, essa diferença não resultou em uma diferença muito grande nos valores de pH ao final do processo, com apenas a exceção de Rocha, Costa & Lima (2016) e Costa (2014) onde o valor de pH encontrado foi abaixo do ideal. Nota-se também que no mesmo estudo, o valor de referência de AV/AT ficou muito acima de 0,5.

TABELA 6 - PH E RELAÇÃO AV/AT ENCONTRADAS NA LITERATURA

Autor	Substrato	Condições operacionais	pH	AV/AT
Matinc et al., (2017)	Dejeto suíno + bovino em proporções de 90% suíno e 10% bovino a 55% suíno e 45% bovino. Juntamente de inóculo.	Temperatura : 37 ± 2°C	7,65 ± 0,05	
Rocha, Costa e Lima (2016)	Dejeto suíno + bovino na proporção 3:1	Temperatura ambiente, sem agitação. ST iniciais : 8,28 ± 0,05 ST iniciais : 8%.	5,5	1,65 ± 0,65
Bruggianesi, Paes e Soares (2018)	Dejeto suíno + bovino em proporções 1:1, 4:1 e 1:4.	Temperatura ambiente sem agitação	7,49 ± 0,1	
Hepp (2016)	Dejeto suíno + bovino em proporções de 70% suíno e 30% bovino, 50% suíno e 50% bovino e 30% suíno e 70% bovino.	Temperatura : 35°C	7,7 ± 0,14	
Motta (2012)	Dejeto suíno + bovino	Biodigestor em tamanho real	7,72 ± 0,27	
Siebert (2021)	Dejeto suíno + bovino	2 biodigestores em tamanho real: 1 tubular e 1 de mistura completa	7,82 ± 0,02	
Costa (2014)	Dejeto suíno + bovino em diversas proporções com inóculo bovino	Temperatura : 28°C sem agitação	5,71 ± 0,29	6,72 ± 3,77

FONTE: O autor, (2022).

Ao realizar análises estatísticas para os fatores de alcalinidade e acidez, tanto agitação como temperatura não demonstraram serem variáveis que afetaram os valores obtidos.

4.3 SÓLIDOS TOTAIS E SÓLIDOS TOTAIS VOLÁTEIS

Os valores de remoção de ST e SV colocados na TABELA 7 estiveram dentro dos encontrados na literatura colocados na TABELA 8. Segundo os autores conforme você varia a proporção dos resíduos no substrato, aliados a variação ou não de temperatura e agitação os resultados acabam sofrendo grandes modificações.

Uma maior remoção de ST e SV resulta em uma maior eficiência do processo de codigestão, tendo como resultado um digestato com potencial de substituir adubos químicos e um biogás com maior porcentagem de metano.

TABELA 7 - SÓLIDOS INICIAIS, SÓLIDOS DO EFLUENTE E SUA PORCENTAGEM DE REMOÇÃO

	ST (mg/L)	SV (mg/L)	% ST Removido	% SV Removido
INICIAL	28754,94 ± 12997,47	22461,10 ± 11517,62	-	-
EXPERIMENTO 1	17215,00 ± 1260,00	11280,00 ± 1075,00	40,13 ± 7,32	49,78 ± 9,53
EXPERIMENTO 2	21755,00 ± 1071,85	14937,50 ± 937,20	24,34 ± 4,93	33,50 ± 6,27
EXPERIMENTO 3	21395,00 ± 3039,67	14507,50 ± 2026,22	25,6 ± 14,21	35,41 ± 13,97
EXPERIMENTO 4	23882,50 ± 647,16	16087,50 ± 546,64	16,94 ± 2,71	28,38 ± 3,40
EXPERIMENTO 5	19962,50 ± 2334,48	13560,00 ± 1798,64	30,58 ± 11,69	39,63 ± 13,26
EXPERIMENTO 6	19275,00 ± 2747,46	12782,50 ± 1838,69	32,97 ± 14,25	43,09 ± 14,38
EXPERIMENTO 7	24565,00 ± 676,28	15465,00 ± 1257,58	14,57 ± 2,75	31,15 ± 8,13
EXPERIMENTO 8	26602,50 ± 1970,06	18287,50 ± 1547,42	7,49 ± 7,41	18,58 ± 8,46

FONTE: O autor, (2022).

Observa-se na TABELA 8 que os valores na literatura tiveram uma grande variação ao analisarem o mesmo substrato. Matinc et al., (2017) encontrou em seus experimentos que conforme aumenta-se a quantidade de SV, maior será a porcentagem removida do mesmo. Onde as maiores remoções estavam nos experimentos com maior quantidade de substratos bovinos. Já Paes et al., (2019) obtiveram valores opostos, onde a maior porcentagem de remoção de ST e SV esteve no experimento com maior proporção de substratos suínos.

Sendo assim, ainda se busca uma proporção ideal para realizar a codigestão de substratos suínos e bovinos visando uma maior degradação da matéria orgânica, que resultara em uma maior produção de biogás.

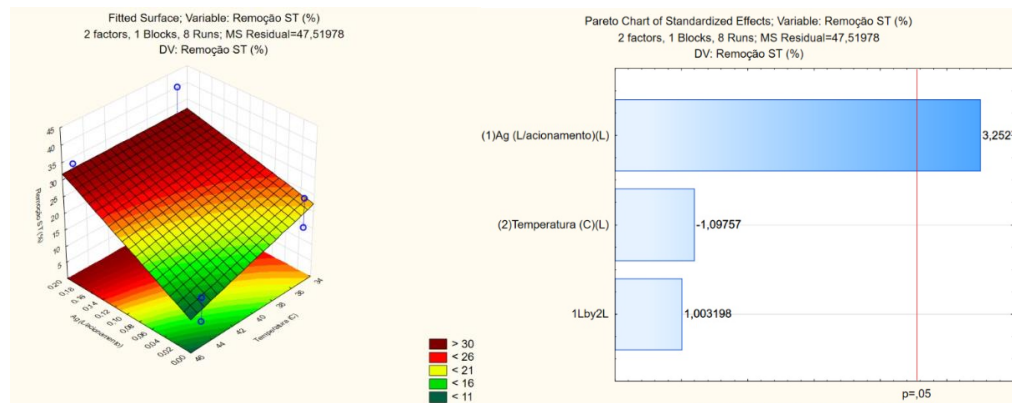
TABELA 8 - % DE REMOÇÃO DE SÓLIDOS ENCONTRADOS NA LITERATURA

Autor	Substrato		% Removido ST	% Removido STV
Matinc et al., (2017)	Dejeto suíno + bovino em proporções de 90% suíno e 10% bovino a 55% suíno e 45% bovino. Juntamente de inóculo.	Temperatura : $37 \pm 2^{\circ}\text{C}$	-	17,5 - 24,6
Rocha, Costa e Lima (2016)	Dejeto suíno + bovino na proporção 3:1	Temperatura ambiente, sem agitação. ST iniciais : $8,28 \pm 0,05$	75	-
Bruggianesi, Paes e Soares (2018)	Dejeto suíno + bovino em proporções 1:1, 4:1 e 1:4.	ST iniciais : 8% a temperatura ambiente sem agitação	24 - 39	42 - 51
Hepp (2016)	Dejeto suíno + bovino em proporções de 70% suíno e 30% bovino, 50% suíno e 50% bovino e 30% suíno e 70% bovino.	Temperatura : 35°C	0,35 - 0,83	1,89 – 1,92
Motta (2012)	Dejeto suíno + bovino	Biodigestor em tamanho real	31 - 68	28 - 65
Siebert (2021)	Dejeto suíno + bovino	2 biodigestores em tamanho real: 1 tubular e 1 de mistura completa	$53,95 \pm 8,79$	$67,14 \pm 9,39$

FONTE: O autor, (2022).

Observando a FIGURA 5 é possível verificar que o comportamento de remoção de ST sofreu influência apenas da agitação, sendo maiores nos tratamentos nos que possuíam o sistema. A temperatura apesar de visualmente parecer influente no processo não demonstrou resultados estatísticos de influência significativa. Enquanto o “p” valor de 0,031 para remoção de ST demonstra que podemos rejeitar a hipótese nula. Já a remoção de SV não sofreu influência pela agitação ou temperatura conforme a FIGURA 6.

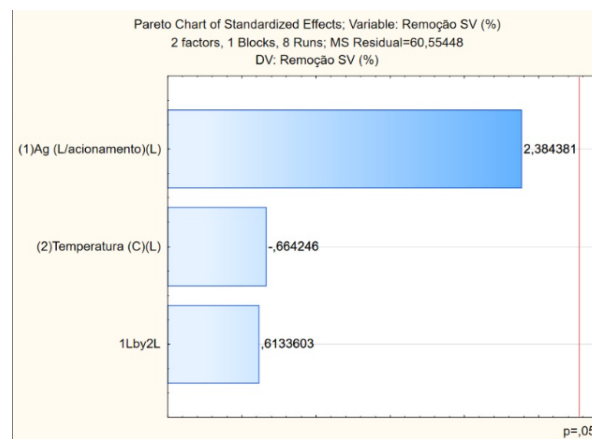
FIGURA 5 - SUPERFÍCIE DE RESPOSTA (LADO ESQUERDO) E GRÁFICO DE PARETO (LADO DIREITO) PARA A % DE REMOÇÃO DE ST



REMOÇÃO DE ST = $57,11 - 116,325 \cdot AG - 1,024 \cdot T + 4,89 \cdot AG \cdot T$; $F_{cal} = 10,58$; $R^2 = 0,76$; $p = 0,031$

FONTE: O autor, (2022).

FIGURA 6 - GRÁFICO DE PARETO PARA A REMOÇÃO DE SV

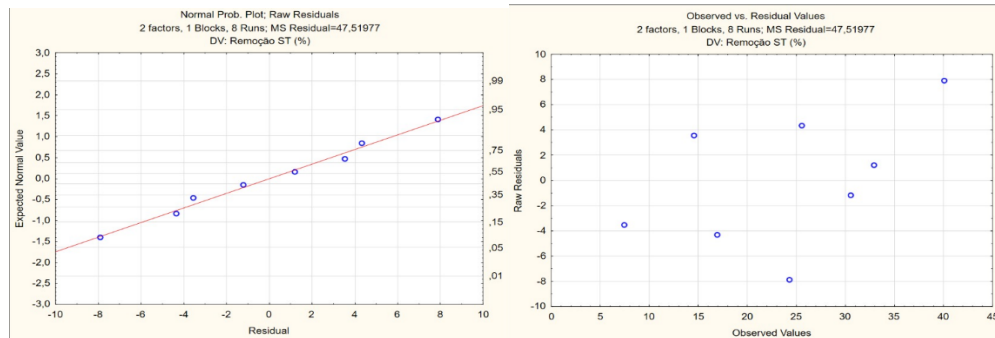


$R^2 = 0,62$; $p = 0,07$

FONTE: O autor, (2022).

Conforme os valores apresentados na FIGURA 7 pode-se considerar como validos os resultados obtidos para a remoção de ST, devido à normalidade e aleatoriedade dos resíduos terem sido respeitadas

FIGURA 7 - DISPERSÃO DE ERROS (DIREITA) E NORMALIDADE (ESQUERDA) PARA A REMOÇÃO DE ST



FONTE: O autor, (2022).

4.4 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Durante o processo de codigestão foram anotados os valores diários de produção de biogás, os quais possibilitaram determinar a quantidade de biogás produzido e o fim do processo de codigestão.

4.4.1 Biogás acumulado e rendimento

Na TABELA 9 encontram-se os dados referentes a produção de biogás de cada experimento juntamente do rendimento. Este método é utilizado para verificar se o processo foi eficiente ou não, o qual consiste na relação de biogás produzido pela quantidade de SV removidos.

TABELA 9 - BIOGÁS ACUMULADO E RENDIMENTO

	Dias	Volume biogás (L)	Rendimento (L biogás / kg SV consumidos)
Experimento 1	12	0,13	10
Experimento 2	11	0,76	100
Experimento 3	20	1,98	250
Experimento 4	22	4,79	750
Experimento 5	39	3,30	370
Experimento 6	37	4,70	490
Experimento 7	32	2,94	420
Experimento 8	34	4,68	1112

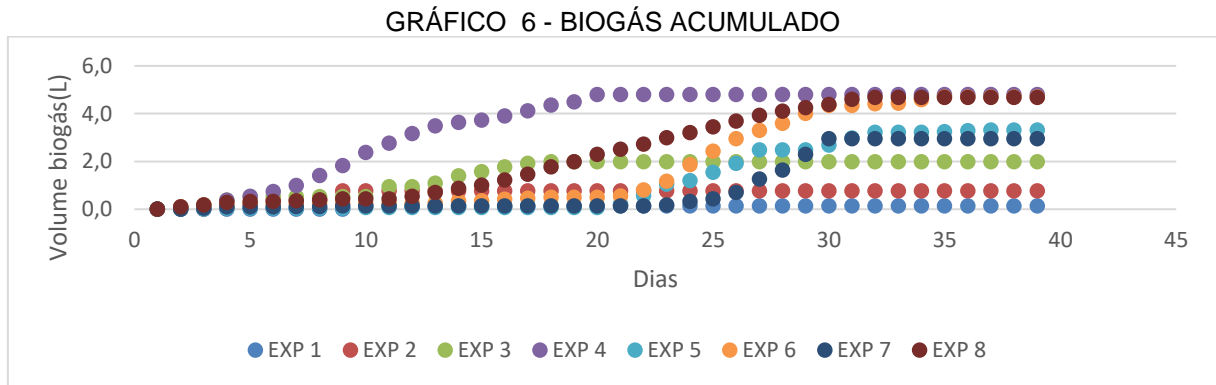
FONTE: O autor, (2022).

Conforme observado no GRÁFICO 6 o comportamento dos experimentos foi semelhante, onde todos tiveram um início lento na geração, mas com um acréscimo acentuado conforme os dias foram passando.

Hepp (2016) com uma a mistura dos resíduos (30% cama bovina e 70% dejetos suíno), apresentou um rendimento de 239,76 L.kgSV⁻¹. O mesmo autor ao analisar a um mix com 50% cama bovina e 50% dejetos suíno e outro de 70% cama bovina e 30% dejetos suíno chegou aos rendimentos de 129,49 e 146,30 L.kgSV⁻¹ respectivamente.

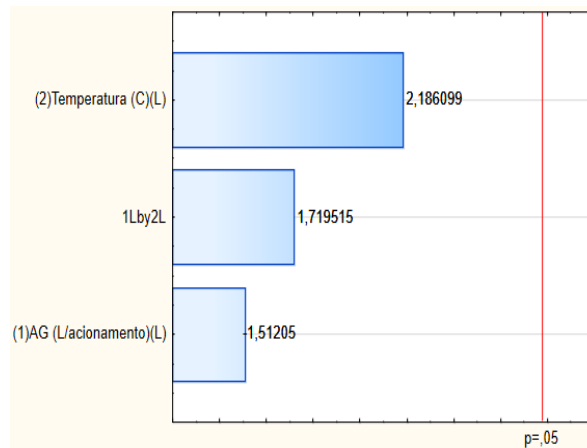
Matinc et al., (2017) ao variar as concentrações de cada resíduo no substrato alcançou os mais diversos valores, tendo como mínimo e máximo 459 L.kgSV⁻¹ e 551 L.kgSV⁻¹, onde a amostra composta por 75% de dejetos de suínos e 25% de dejetos de bovinos, obteve o maior potencial de produção de biogás e presença de metano.

Para verificar a produção de biogás foi realizado um acompanhamento diário com os valores produzidos, onde analisando os dados obtidos notou-se que o experimento 1 apresentou um comportamento diferenciado, tendo produzido apenas em um dia e parado. Acredita-se que possa ter ocorrido algum vazamento no reator ou no sistema de coleta de biogás que permitiu o escape do biogás produzido, e, portanto, não será analisado pelos modelos de regressão.



Ao realizar análise dos resultados para produção de biogás conforme a FIGURA 8, percebeu-se que a temperatura e agitação não tiveram efeitos significativos sobre os resultados encontrados.

FIGURA 8 - GRÁFICO DE PARETO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS



FONTE: O autor, (2022).

4.4.2 Modelos não lineares

Os modelos não lineares de Gompertz e Logístico foram ajustados às cinéticas de produção de biogás. O resultado do parâmetro estatístico R^2 , e os parâmetros cinéticos para o ajuste de cada modelo a produção de biogás estão ilustrados nas TABELAS 10 e 11.

De forma geral, ambos os modelos descreverem adequadamente as cinéticas de produção de biogás, entretanto com diferenças de precisão entre eles.

Nota-se que o ambos os modelos apresentaram um coeficiente de determinação superior a 0,95, isso significa que mais de 95% dos eventos observados podem ser descritos pelos modelos utilizados. Tendo o modelo logístico atingindo valores superiores a 99% em 5 dos 7 experimentos analisados, enquanto o modelo de Gompertz atingiu este valor em 3.

TABELA 10 - PARÂMETROS CINÉTICOS DO MODELO DE GOMPERTZ

	V Total (L)	λ Fase lag (Dia)	Velocidade específica máxima (L/dia)	R ²
EXPERIMENTO 1	-	-	-	-
EXPERIMENTO 2	0,76	3,72	0,14	0,973
EXPERIMENTO 3	2,05	4,23	0,15	0,959
EXPERIMENTO 4	4,85	4,51	0,43	0,997
EXPERIMENTO 5	3,38	20,58	0,36	0,997
EXPERIMENTO 6	4,84	20,28	0,52	0,987
EXPERIMENTO 7	3,02	24,84	0,62	0,988
EXPERIMENTO 8	5,30	10,79	0,25	0,992

FONTE: O autor, (2022).

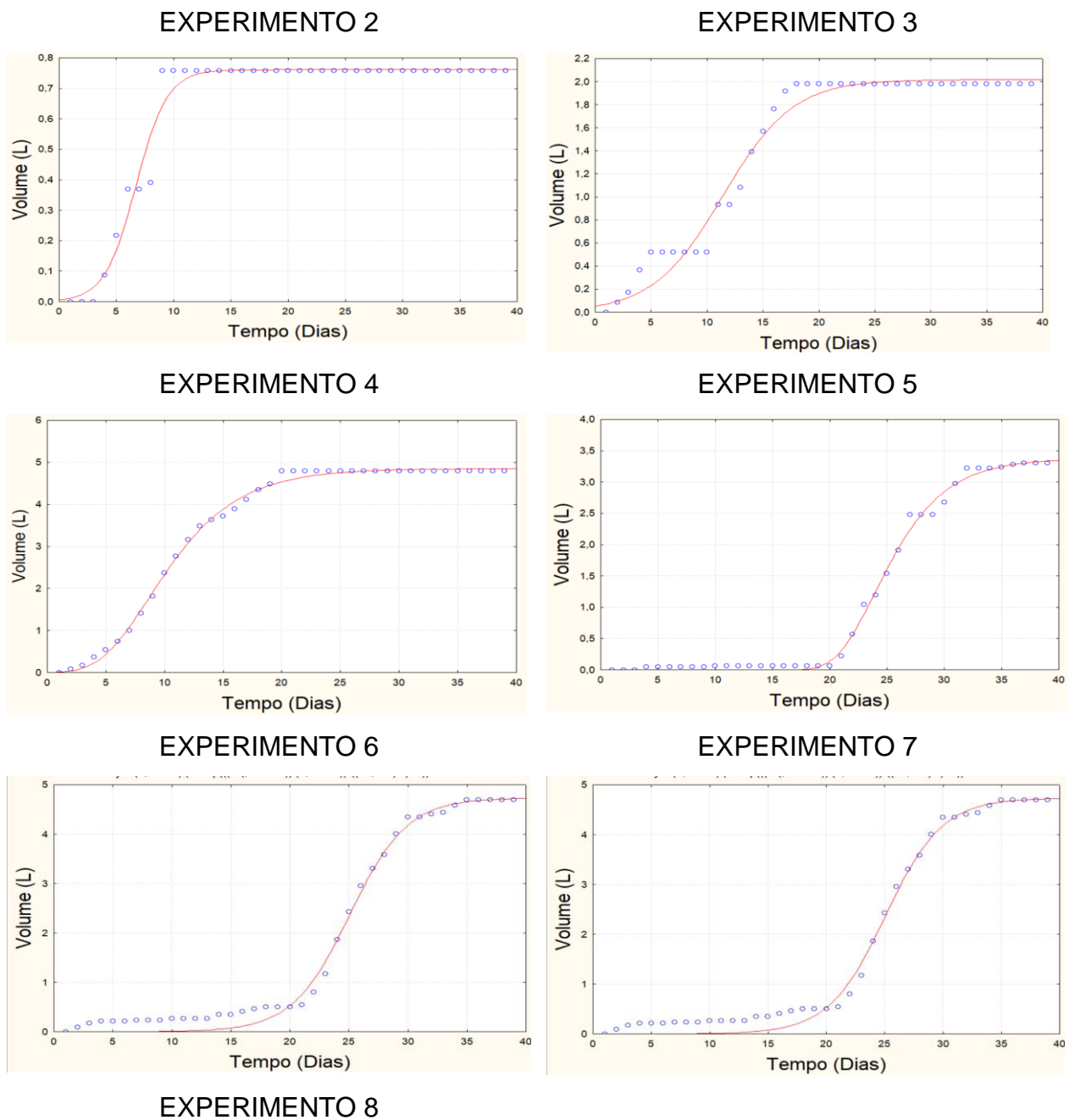
TABELA 11 - PARÂMETROS CINÉTICOS DO MODELO LOGÍSTICO

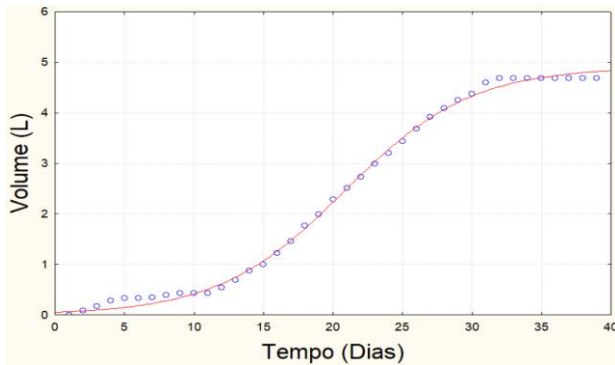
	V Total (L)	λ Fase lag (Dias)	Velocidade específica máxima (L/dia)	R ²
EXPERIMENTO 1	-	-	-	-
EXPERIMENTO 2	0,76	3,97	0,14	0,975
EXPERIMENTO 3	2,02	5,15	0,16	0,976
EXPERIMENTO 4	4,79	4,80	0,42	0,996
EXPERIMENTO 5	3,27	20,88	0,37	0,995
EXPERIMENTO 6	4,73	20,19	0,49	0,991
EXPERIMENTO 7	2,99	24,91	0,59	0,992
EXPERIMENTO 8	4,91	11,72	0,27	0,998

FONTE: O autor, (2022).

Observa-se que o modelo de logístico apresentou os melhores resultados se comparados ao modelo de Gompertz modificado, tendo sido superado apenas nos experimentos 4 e 5. Na FIGURA 9 estão ilustrados os ajustes do melhor modelo aos dados experimentais de produção de biogás com exceção ao experimento 1 que como mencionado anteriormente foi desconsiderado para estas análises.

FIGURA 9 - AJUSTE DO MELHOR MODELO DE REGRESSÃO A CADA EXPERIMENTO





FONTE: O autor, (2022).

Nota-se que o experimento 3 teve uma interrupção no processo de produção no dia 5, retornando a produzir no decimo dia. Acredita-se que ocorreu a acidificação do reator devido a um aumento de produção de ácidos ocasionado pela etapa da acidogênese. Contudo, como houve o retorno da produção o sistema conseguiu degradar os ácidos em acetato e posterior em biogás.

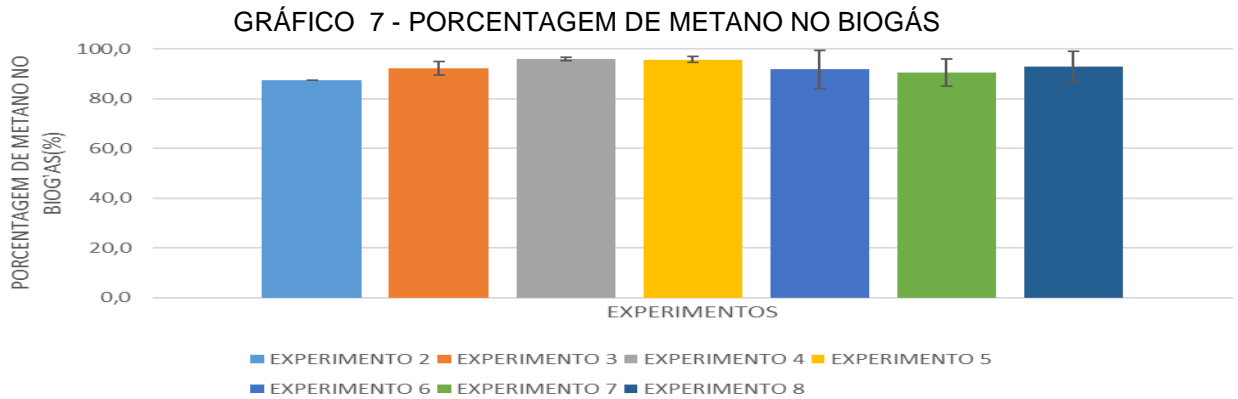
A aplicação dos modelos de regressão possibilitou a avaliação da velocidade específica máxima de produção do biogás e notou-se que não houve diferença significativa entre os experimentos ao variar os parâmetros de temperatura e agitação.

Juntamente disto, analisou-se o tempo de fase lag, compreendido como o período em que os microrganismos necessitam para se estabilizar com o substrato para começarem a degradar o material orgânico. Neste caso, os experimentos 2,3 e 4 apresentaram uma menor fase lag devido a menor temperatura fazendo com que os microrganismos necessitassem de menos tempo para se adaptar ao ambiente.

4.5 COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS

O biogás gerado em determinadas ocasiões foi coletado e analisado por cromatografia gasosa para determinação de seus compostos.

O GRÁFICO 7 detalha as composições medias de cada amostra referente aos dias coletados e aos experimentos. Conforme observado no GRÁFICO 6, o período de produção de cada experimento variou, e com isso também variou a quantidade de amostras coletadas e os dias coletados. Percebe-se que experimento 2 teve apenas 1 coleta devido a baixíssima produção de biogás, contudo, mesmo gerando pouco biogás, o mesmo atingiu altos valores de metano em sua composição.



FONTE: O autor, (2022).

Das amostras coletadas observou-se um padrão onde a quantidade de CO₂ presente no biogás decai conforme a codigestão vai sendo realizada. Chegando a valores inferiores a 1% ao final do processo. A porcentagem de H₂ no biogás se manteve abaixo de 1% em quase todas as análises, com a exceção de uma. Sendo assim o biogás gerado no processo é considerado de altíssima pureza e sem a presença de contaminantes significativos.

Konrad et al., (2014) observaram um aumento na quantidade de metano com o passar dos dias atingindo valores máximos de 70% em sua composição. Matinc et al., (2017) obteve um valor médio de 81% de metano em seus experimentos. Siebert (2021) ao analisar a codigestão de dejetos bovinos e suínos obteve uma concentração média de metano de 57,5%, com mínimo de 51,9%, máxima de 61,9% e desvio padrão de 2,9.

Para Bruggianesi, Paes e Soares (2018) o biogás produzido, ao longo de 23 dias de codigestão anaeróbica, na maior proporção de dejetos de bovino (4:1) apresentou a composição média de 4,74 de CH₄ v/v, enquanto a proporção de 1:4 atingiu 3,63 de CH₄ v/v e 1:1 chegou a valores de 3,32 de CH₄ v/v. Hepp (2016) em suas análises chegou a diferentes porcentagens de metano conforme variava a concentração do substrato, obtendo valores de médios de 48% e 41%. Motta (2012) ao analisar um biodigestor em escala real obteve valores de 71%, 50.2% e 71.2% em um intervalo de dois meses.

Os resultados encontrados foram muito superiores aos existentes na literatura. O biogás gerado após o 12 dia poderia ser utilizado diretamente para queima em motores de combustão interno sem passar por qualquer processo de

filtragem de partículas nocivas ao motor. Diminuindo assim, os custos necessários para a geração de energia elétrica ou térmica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A degradação de resíduos suínos em bovinos em processo de codigestão anaeróbia foi considerada uma forma viável de realizar o tratamento destes resíduos de forma a não contaminar o meio ambiente.

Foram obtidos resultados próximos aos da literatura quando se trata de remoção de ST e SV, com um máximo de $40,13 \pm 7,32$ e $49,78 \pm 9,53\%$ respectivamente.

A composição de metano no biogás foi considerada satisfatória ao atingir valores superiores a 95% durante boa parte da produção. Com esta porcentagem, este produto já pode ser comercializado como biometano, agregando valor a um subproduto que poderia ser desperdiçado em caso de queima por flare para conversão em CO₂.

Os modelos de regressões utilizados corresponderam ao processo existente ajustando com índices altos a curva de produção de biogás, sendo o modelo logístico o mais adequado para descrever o processo ocorrido.

Observou-se que a variação dos parâmetros de temperatura e agitação não influenciou diretamente os resultados obtidos com relação a remoção de SV e a produção de biogás, afetando apenas a correção do pH, onde a temperatura influenciou diretamente no resultado, e a remoção de ST, onde a agitação resultou em uma maior remoção.

Não foram realizar análises de nutrientes no digestato, mas espera-se que o mesmo apresente um grande potencial de ser utilizado como substituto aos fertilizantes químicos, sendo atualmente comercializado na forma líquida ou sólida, a depender da utilização.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para os próximos trabalhos a codigestão de dejetos suínos e bovinos variando os parâmetros de temperatura e agitação poderá ser avaliada juntamente com a

variação da porcentagem de cada resíduos na composição do substrato, visando encontrar a melhor proporção entre eles para cada situação.

A codigestão de outros resíduos como biopolímeros e resíduos provenientes da produção de álcool também poderá ser utilizada, devido a grande quantidade de geração e oportunidade de aumento da eficiência do processo atualmente existente.

REFERÊNCIAS

ADARME, Oscar Fernando Herrera. **Obtenção de biogás a partir da Codigestão anaeróbia de resíduos do processo de produção de bioetanol de primeira e segunda geração**. 2020. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2020. Disponível em: https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:C7ML7QCIKpgJ:scholar.google.com/+OBTEN%C3%87%C3%83O+DE+BIOG%C3%81S+A+PARTIR+DA+CO-DIGEST%C3%83O+ANAER%C3%93BIA+DE+RES%C3%8DDUOS+DO+PROCESSO+DE+PRODU%C3%87%C3%83O+DE+BIOETANOL+DE+PRIMEIRA+E+SEGUNDA+GERA%C3%87%C3%83O&hl=pt-BR&as_sdt=0,5. Acesso em: 02 nov. 2022.

ALVES, Joel Fernando Malheiro. **Valorização de resíduos por codigestão anaeróbia**. 2015. 160 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sistemas de Energias Renováveis, Instituto Politécnico de Viana do Castelo, 2015. Disponível em: <http://hdl.handle.net/20.500.11960/1517>. Acesso em: 02 nov. 2022.

AMARAL, A; TÁPPARO, D. C; MARIANI, L. ; STEINMETZ, R. L. . .; KUNZ, A. . Codigestão de efluentes agropecuários em uma usina de biogás. **Revista RedBioLAC**, [S. l.], v. 5, n. 1, p. 82–86, 2022. Disponível em: <http://revistaredbiolac.org/index.php/revistaredbiolac/article/view/50>. Acesso em: 5 nov. 2022.

ANTUNES, Maurício Zanon. **Viabilidade da produção de biogás a partir de dejetos animais**. 2019. 61 f. TCC (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Maria, Cachoeira do Sul, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/19191>. Acesso em: 02 nov. 2022.

APHA. Standard Methods: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19 ed.1995. Disponível em: https://beta-static.fishersci.com/content/dam/fishersci/en_US/documents/programs/scientific/technical-documents/white-papers/apha-water-testing-standard-methods-introduction-white-paper.pdf. Acesso em: 02 nov. 2022.

ARAÚJO, Laura Costa Alves de. **Codigestão anaeróbia dos dejetos de ovinos e glicerina bruta**. 2012. 42 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufgd.edu.br/jspui/handle/prefix/728>. Acesso em: 02 nov. 2022.

ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017, 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Uberlândia, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/20292>. Acesso em: 02 nov. 2022.

AZEVEDO, Henrique Lacerda de Santana. **Biodigestores anaeróbios como alternativa tecnológica para produtores e cooperativas rurais**. 2021. 81 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Tecnologia de Processos Sustentáveis, Instituto

Federal de Educação Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiania, 2021. Disponível em: <http://repositorio.ifg.edu.br:8080/handle/prefix/939>. Acesso em: 02 nov. 2022.

BOCHI, G. S.; LORENCETTI, M. C.; OLIVEIRA, M. D.; MOURA, R. B.. ANÁLISE DO POTENCIAL DE GERAÇÃO DE BIOGÁS EM REATORES ANAERÓBIOS SUBMETIDOS AO TRATAMENTO DA VINHAÇA: INFLUÊNCIA DA CONCENTRAÇÃO DE DQO E DO PH. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 1., 2019, Uberlândia. **Anais**. Uberlândia: Cobeq, 2019. p. 1-6. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobecic2019/EAT34.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

BONATTO, Isabela da Cruz; MOREIRA, Ailton João Gonçalves; RESTREPO, José Julio Barrios; FRANCO, Davide; CASTILHOS JUNIOR, Armando Borges de. Influência de diferentes tipos de nanopartículas de prata na biodegradação da fração orgânica de resíduos sólidos urbanos. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 26, n. 1, p. 11-19, fev. 2021. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1413-415220200255>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/B4ktCSV3hBWGj8b4FMzTbsr/abstract/?format=html&lang=en>. Acesso em: 02 nov. 2022.

BORTOLINI, Joseane; TAVARES, Maria Hermínia Ferreira; FREITAG, Dayane Taine; KUCZMAN, Osvaldo. Removal of solids and chemical oxygen demand in poultry litter anaerobic digestion with different inocula. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 15, n. 2, p. 1, 26 mar. 2020. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.2469>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ambiagua/a/JJtt4GrpfwyX6tJkNCyzKxw/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 02 nov. 2022.

BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Rio de Janeiro: 2022. 292 p. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2022>. Acesso em: 02 nov. 2022.

BRAZ, Carla Silva. **Determinação física e química de dejetos oriundos de criatórios de animais**. 2022. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Curso de Engenharia Agrícola, Instituto Federal Goiano, Urutaí, 2022. Disponível em: <https://repositorio.ifgoiano.edu.br/handle/prefix/2407>. Acesso em: 05 nov. 2022.

BRUGGIANESI, Giancarlo; PAES, Juliana Lobo; SOARES, Caroline Stephanie Gomes de Castro. Potencialidade do biogás gerado pela combinação de dejetos bovino e suíno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENERGIA SOLAR, 7., 2018, Gramado. **Anais CBENS 2018**. Gramado: Cbens, 2018. p. 0-0. Disponível em: <https://anaiscbens.emnuvens.com.br/cbens/article/view/611>. Acesso em: 05 nov. 2022.

CARDOSO, Fernanda Emanuelle Possidonio. **Avaliação da biodigestão anaeróbia de resíduos alimentares e aguapé para a produção de biogás**. 2021. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Energias Renováveis) -

Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/62584>. Acesso em: 02 nov. 2022.

CARMO, Victor Matheus Silva do. **Modelos sigmoidais e suas aplicações**. 2022. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2022. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/216442>. Acesso em: 02 nov. 2022.

COSTA, Antonio Marcos Tubiana de. **Codigestão anaeróbia de resíduos bovinos e suínos: caracterização química e produção de biofertilizante para uso em cultura de milho**. 2014. 157 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2014. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/1116>. Acesso em: 02 nov. 2022.

CREMONEZ, Paulo André. **Digestão anaeróbia de um polímero à base de fécula de mandioca**. 2019. 122 f. Tese (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/4273>. Acesso em: 02 nov. 2022.

DOMINGUES, Paulo Manuel Simão da Ponte. **Produção de biogás por codigestão anaeróbia e sua valorização**. 2020. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia da Energia e do Ambiente, Escola Superior de Tecnologia e Gestão, Leiria, 2020. Disponível em: <https://iconline.ipleiria.pt/handle/10400.8/5823>. Acesso em: 02 nov. 2022.

DORNELAS, Karoline Carvalho; SCHNEIDER, Roselene Maria; AMARAL, Adriana Garcia do; TON, Ana Paula Silva; MASCARENHAS, Nágela Maria Henrique. Biodigestion as a tool for poultry sustainability - a review. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 12, [N.P.], 12 set. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i12.20042>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/20042>. Acesso em: 02 nov. 2022.

DUPONT, Gabriele Kuhn. **Modelagem matemática da codigestão anaeróbia de dejetos de suínos e bagaço de mandioca para produção de metano**. 2021. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2021. Disponível em: <https://rd.ufes.edu.br/handle/prefix/4749>. Acesso em: 02 nov. 2022.

FERNANDES FILHO, Antônio Carlos; SANTANA, Cristiane Oliveira Silva; GATTAMORTA, Marco Aurélio. Utilização de biodigestores para geração de energia elétrica a partir de dejetos de suínos no Brasil. **Inovae - Journal Of Engineering, Architecture And Technology Innovation**, São Paulo, v. 6, p. 67-84, 2018. Disponível em: <http://revistaseletronicas.fmu.br/index.php/inovae/article/view/1786>. Acesso em: 02 nov. 2022.

FERNANDES, Antônio Alves Tôres; FIGUEIREDO FILHO, Dalson Britto; ROCHA, Enivaldo Carvalho da; NASCIMENTO, Willber da Silva. Read this paper if you want to learn logistic regression. **Revista de Sociologia e Política**, [S.L.], v. 28, n. 74, p. 1-20, 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/1678-987320287406en>. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/rsocp/a/RWjPthhKDYbFQYydbDr3MgH/?lang=pt>. Acesso em: 02 nov. 2022.

GONÇALVES, Fernanda da Silva; RAMALHO, Antonio Ricardo dos Santos. Biodigestão anaeróbia da manipueira gerada na casa de farinha no município de Branquinha/AL, Brasil. **Diversitas Journal**, [S.L.], v. 6, n. 1, p. 36-47, 24 jan. 2021. [Http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i1-1408](http://dx.doi.org/10.17648/diversitas-journal-v6i1-1408). Disponível em: https://www.diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/1408. Acesso em: 02 nov. 2022.

GUERI, M. V. D.; FURTADO, A. C.; NAGEL SCHIRMER, W.; KUCZMAN, O. Análise de estabilidade de um protótipo de biodigestor anaeróbio mesofílico digerindo resíduo alimentar. **Revista Geama**, [S. l.], v. 7, n. 3, p. 05–12, 2021. Disponível em: <https://journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/4298>. Acesso em: 2 nov. 2022.

HASAN, Camila; FEITOSA, Anny Kariny; SILVA, Maria Cristina de Almeida; MARDER, Munique; MARDER, Munique. Produção de biogás a partir de resíduos agroindustriais: análise dos teores de sólidos totais, voláteis e fixos em amostras pré e pós digestão anaeróbia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 8, n. 1, p. 257-273, 2019. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/328077874.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

HEPP, Francisco. **Avaliação da geração de biogás e biometano utilizando cama de bovinos de corte confinados e dejetos suínos**. 2016. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 08 dez. 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10737/1390>. Acesso em: 02 nov. 2022.

HUAMAN, Yoel Modesto Vargas; CHOQUEHUANCA, Paul Jhoedan Quispe; CHURA, Rose Adeline Callata; PEREZ, Glen Bryan Madrigal. Evaluación de Efluentes Industriales de Harina y Aceite de pescado para la producción de Biogás y metano en pruebas batch. **Dominio de Las Ciencias**, [s. l.], v. 7, n. 6, p. 115-128, 2021. Disponível em: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:ozwUuyV5YI4J:https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8383736.pdf&cd=2&hl=pt-BR&ct=clnk&gl=br>. Acesso em: 02 nov. 2022.

IBARRA, José Trinidad Ulloa; CARRILLO, Jorge Armando Rodríguez; VERA, Jaime L. Arrieta. Una alternativa para el estudio del modelo Gompertz. **Acta Pesquera**, Tepic, v. 2, n. 4, p. 49-62, 2016. Disponível em: <http://cimateuan.education/revistav2/index.php/AP/article/view/21>. Acesso em: 02 nov. 2022.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção da Pecuária Municipal 2020**. 48. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. 12 p. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2020_v48_br_informativo.pdf. Acesso em: 02 nov. 2022.

KITAMURA, Stephany Hidemi Peres; SILVA, Lucas Melo da; BATISTA, Felipe Kreft; MELLO, Bruna Sampaio de; RODRIGUES, Brenda Clara Gomes; SARTI, Arnaldo. Codigestão anaeróbia de resíduos agroindustriais (melaço de soja e glicerol) em reator anaeróbio horizontal de leito fixo / Anaerobic co-digestion of agro-industrial

wastes (soybean molasses and glicerol) in a horizontal-flow anaerobic immobilized biomass reactor. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 6144-6163, 24 jan. 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n1-416>. Disponível em: <https://brazilianjournals.com/ojs/index.php/BRJD/article/view/43147>. Acesso em: 02 nov. 2022.

KRIEGER, Pedro Augusto; FRARE, Laercio Mantovani; EYNG, Eduardo; ORSSATTO, Fabio; ALINO, João Henrique de Lima; EDWIGES, Thiago. Análise da sinergia de resíduos obtidos de atividades de agropecuária na produção de biogás. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.L.], v. 12, n. 11, p. 153-162, 18 dez. 2021. Companhia Brasileira de Produção Científica. <http://dx.doi.org/10.6008/cbpc2179-6858.2021.011.0014>. Disponível em: <https://sustenere.co/index.php/rica/article/view/6735>. Acesso em: 02 nov. 2022.

KONRAD, O.; SCHMEIER, N. P.; ANATER, A. T.; CASARIL, C.; LUMI, M. Geração de biogás através de digestão anaeróbia utilizando substrato suíno e bovino. **Revista Acadêmica Ciência Animal**, [S. l.], v. 12, n. 3, p. 209–214, 2014. DOI: 10.7213/academica.12.03.AO06. Disponível em: <https://periodicos.pucpr.br/cienciaanimal/article/view/14820>. Acesso em: 5 nov. 2022.

KUNZ, Airton; STEINMETZ, Ricardo Luis Radis; AMARAL, André Cestonaro. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 2ª Edição, 2022. 211 p. ISBN 978-65-88155-02-8. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1141618/1/final9894.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

LEITE, Valderi Duarte; BARROS, Aldre Jorge Moraes; MENEZES, Jorge Marcell C.; SOUSA, José Tavares de; LOPES, Wilton Silva. Codigestão anaeróbia de resíduos orgânicos. **Revista Dae**, [S.L.], v. 65, n. 208, p. 35-46, 2017. Revista DAE. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2017.004>. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_208_n_1693.pdf. Acesso em: 02 nov. 2022.

LUIZ, Carla Daniela Cordeiro. **Biodigestão anaeróbia dos resíduos orgânicos do restaurante universitário da Unipampa – Campus Bagé**. 64 p. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Energias Renováveis) – Universidade Federal do Pampa, Campus Bagé, Bagé, 2019. Disponível em: <http://dspace.unipampa.edu.br:8080/jspui/handle/rii/4618>. Acesso em: 02 nov. 2022.

MACHADO, Allan Ribeiro. **Potencialidades e desafios da utilização de biogás para transporte e geração de energia**. 2019. 69 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenheiro Mecânico., Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2019. Disponível em: <http://repositorio.ufsm.br/handle/1/18212>. Acesso em: 02 nov. 2022.

MAGALHÃES, Maycon Luiz A.; LEITE, Neila M. Gualberto. Equações Diferenciais Aplicadas à Dinâmica Populacional. In: CONGRESSO DE MATEMÁTICA APLICADA E COMPUTACIONAL, 1., 2012, Januária. **Anais [...]**. Congresso de Matemática Aplicada e Computacional: Issn 2317-3297, 2012. p. 351-353. Disponível em: <http://sbmac.locaweb.com.br/cmaccs/cmac-ne/2012/trabalhos/PDF/294.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

MATINC, C.; TONETTO, J. F.; HASAN, C.; KONRAD, O.. Potencial de produção de biogás a partir da Codigestão de dejetos da Suínocultura e bovinocultura. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.8, n.4, p.154-161, 2017. Disponível em: <http://doi.org/10.6008/SPC2179-6858.2017.004.0013>. Acesso em: 2 nov. 2022.

MAZUCHELI, J.; ACHCAR, J. A. Considerations about nonlinear regression. **Acta Scientiarum**. Technology, v. 24, p. 1761-1770, 22 Apr. 2008. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v24i0.2551> Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/2551>. Acesso em: 2 nov. 2022.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO.(MAPA) **Instrução Normativa nº 61**, de 08 de julho de 2020. Diário Oficial da União. 134. ed. Brasília, BR, 15 jul. 2020. Seção 1, p. 1-5. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-61-de-8-7-2020-organicos-e-biofertilizantes-dou-15-7-20.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA(MME). **Resenha energética Brasileira**. Brasília: 2022. 35 p. Disponível em: <http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/planejamento-e-desenvolvimento-energetico/publicacoes/resenha-energetica-brasileira>. Acesso em: 02 nov. 2022.

MOREIRA, Ailton João Gonçalves. **Aplicação de modelos cinéticos a testes do potencial de biometanização de substratos orgânicos diversos**. 2021. 86 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/221337>. Acesso em: 02 nov. 2022.

MOTTA, Kenia Unfer. **Avaliação da geração de biogás de um biodigestor de dejetos bovinos e suínos**. 2012. 127 f. Tese (Doutorado) - Curso de Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/36178>. Acesso em: 02 nov. 2022.

MÜLLER. Matheus. **Estudo sobre a cadeia produtiva do biometano e seu uso em veículos no Brasil**. 2018. 73 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Energias Renováveis) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/18585>. Acesso em: 02 nov. 2022.

NABACK, Soraia Chafia; FERNANDES, Álvaro José; BARROSO, Marlon do Valle; NASCIMENTO, Clérison Wagner; PAIVA, Aline Dias; MARTINS, Marta Fonseca; OTENIO, Marcelo Henrique. Identificação e perfil de sensibilidade a antimicrobianos de bactérias isoladas na biodigestão anaeróbia de dejetos suínos e bovinos / Identification and profile of antimicrobial sensitivity of bacteria isolated in anaerobic biodigestion of swine and bovine waste. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 8, n. 7, p. 49091-49108, 4 jul. 2022. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n7-029>. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/handle/doc/1144550>. Acesso em: 02 nov. 2022.

OBREGON, Luana; LENZ, João M.; CAMPOS, Maurício de; SAUSEN, Airam M. T. R.; SAUSEN, Paulo S. BIODIGESTORES ANAERÓBIOS: AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA. In: **SALÃO DO CONHECIMENTO**, 2021, Ijuí. 2021. v. 7, [n.p] Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaoconhecimento/article/view/20735>. Acesso em: 02 nov. 2022.

OLIVEIRA, Gabriellen Kelly Amaral de; CARDOSO, Simone de Aviz. MODELAGEM MATEMÁTICA E SIMULAÇÃO DE REATORES ASSOCIADOS PARA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA. **Revista de Engenharia e Tecnologia**, v. 14, n. 3, p. 248-257, 2022. Disponível em: <https://revistas.uepg.br/index.php/ret/article/view/20075>. Acesso em: 02 nov. 2022.

ORRICO JÚNIOR, Marco A. P.; ORRICO, Ana C. A.; LUCAS JÚNIOR, Jorge de. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com e sem separação da fração sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 29, n. 3, p. 474-482, set. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162009000300014>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/W7Vvjjw9NmjcYZjqDt9LyqmR/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 02 nov. 2022.

ORRICO JÚNIOR, Marco A. P.; ORRICO, Ana C. A.; LUCAS JÚNIOR, Jorge de. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. **Engenharia Agrícola**, [S.L.], v. 30, n. 4, p. 600-607, ago. 2010. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162010000400004>. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-69162010000400004>. Acesso em: 05 nov. 2022.

PALLO-CHANGO, Ivan; ZAMBRANO-GAVILANES, Freddy; PONCE-SALTOS, Wilmer. Biogás de fibras de la yuca con diferentes inóculos y caracterización química de los substratos biodigeridos. **The Biologist**, [S.L.], v. 19, n. 2, p. 203-213, 21 jun. 2021. Universidad Nacional Federico Villarreal. <http://dx.doi.org/10.24039/rtb20211921125>. Disponível em: <https://revistas.unfv.edu.pe/rtb/article/view/1125>. Acesso em: 02 nov. 2022.

PASQUALINI, Alexandre Antônio. APLICAÇÃO DOS BIODIGESTORES NA PECUÁRIA SUSTENTÁVEL. **Revista Científica Faculdades do Saber**, [s. l.], v. 5, n. 9, p. 598-609, 06 jul. 2020. Disponível em: <https://rfs.emnuvens.com.br/rfs/article/view/89>. Acesso em: 02 nov. 2022.

PATIL, Pankaj N.; GOGATE, Parag R.; CSOKA, Levente; DREGELYI-KISS, Agota; HORVATH, Miklos. Intensification of biogas production using pretreatment based on hydrodynamic cavitation. **Ultrasonics Sonochemistry**, [S.L.], v. 30, p. 79-86, maio 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ultsonch.2015.11.009>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1350417715300754>. Acesso em: 02 nov. 2022.

PENTEADO, Eduardo Delloso; LAZARO, Carolina Zampol; SAKAMOTO, Isabel Kimiko; ZAIAT, Marcelo. Influence of seed sludge and pretreatment method on hydrogen production in packed-bed anaerobic reactors. **International Journal Of Hydrogen Energy**, [S.L.], v. 38, n. 14, p. 6137-6145, maio 2013. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijhydene.2013.01.067>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360319913001535>. Acesso em: 02 nov. 2022.

PEREIRA, Érika Carvalho; SANTOS, Nayara Milena Silva dos; FORMAGGINI, Rodney Santos; OLIVEIRA, Raquel Gomes de. Geração de biogás a partir da biomassa do malte da fabricação de cervejas artesanais / Biogas generation from the biomass of craft beer malt. **Brazilian Journal Of Development**, Curitiba, v. 7, n. 10, p. 99933-99946, 26 out. 2021. South Florida Publishing LLC. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n10-349>. Disponível em: https://scholar.googleusercontent.com/scholar?q=cache:UF_ANDpzzrKMJ:scholar.google.com/+10.34117/bjdv7n10-349&hl=pt-BR&as_sdt=0,5. Acesso em: 02 nov. 2022.

PEREIRA, Erlon Lopes; MOARAI, Naassom Wagner Sales; COELHO, Milena Maciel Holanda; LEITÃO, Renato Carrhá; SANTOS, André Bezerra dos. Potencial de produção de biogás a partir da digestão anaeróbia da água residuária do beneficiamento de frutos da indústria de sorvetes. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**, 30^o., 16 a 19 jun. 2019, Natal, no Rio Grande do Norte. Anais, Natal, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufc.br/handle/riufc/55020>. Acesso em: 02 nov. 2022.

PERSZEL, Aline. **Avaliação da cama de aviário como substrato para digestão anaeróbia**. 2018. 43 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2018. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/11486>. Acesso em: 02 nov. 2022.

PIRES, R. B.; GUERRA, E. D.; SOUZA, L. F. C. de; SANTOS, S. M. Avaliação de rúmen bovino como inóculo de reatores anaeróbios. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [S. l.], v. 6, n. 3, p. 259–267, 2021. DOI: 10.24221/jeap.6.3.2021.3745.259-267. Disponível em: <https://journals.ufrpe.br/index.php/JEAP/article/view/3745>. Acesso em: 2 nov. 2022.

QUEIROZ, Simone de Castro. **Modelagem da produção acumulada de biogás em biodigestores tipo batelada segundo a porcentagem de inóculo adicionada utilizando os modelos de regressão não-linear de Gompertz e exponencial**. 2003. xvii, 112 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 2003. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/101926>>. Acesso em: 2 nov. 2022.

ROCHA, Raquel dalla Costa da; COSTA, Antonio Marcos Tubiana da; LIMA, Vanderlei Aparecido de. Avaliação do potencial do biofertilizante gerado no processo de codigestão anaeróbia de resíduos de suíno e bovino em cultivo de milho. **Revista de Ciências Ambientais**, Canoas, v. 10, n. 1, p. 135-145, 30 jun. 2016. Centro Universitario La Salle - UNILASALLE. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.18316/1981-8858.16.27>. Acesso em: 05 nov. 2022.

RODRIGUES, Henrique Clayton. **Codigestão anaeróbia de dejetos de ovinos com inclusões de diferentes proporções de dejetos de bovinos em biodigestores de bancada operando em batelada**. 2021. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Sustentabilidade e Tecnologia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e

Tecnologia de Minas Gerais, Bambuí, 2021. Disponível em: <https://repositorio.bambui.ifmg.edu.br/index.php/mpsta/article/view/129>. Acesso em: 02 nov. 2022.

SANTANA, Mayco Sullivan Araujo de; CARVALHO, Esterphany Cerqueira de; CALLADO, Nélia Henriques. Influence of the use of inoculum in the estimation of methane gas in organic waste in the landfill of the municipalities of agreste alagoano. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 6, [N.P], 18 maio 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i6.15407>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/15407>. Acesso em: 02 nov. 2022.

SANTOS JÚNIOR, Amarildo das Mercês. **Microrganismos eficientes como biofertilizante na cultura da alface**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Agronomia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2022. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/29048>. Acesso em: 02 nov. 2022.

SANTOS, Angelica M. dos; ASSUNÇÃO, Geiza P.; FIGUEIREDO, Alberthmeiry T. de; BARRADO, Cristiano M.. Avaliação da Produção de Biometano da Geração de Biogás a partir de Dejetos Bovinos com Diferentes Diluições. **Revista Processos Químicos**, [S.L.], v. 13, n. 26, p. 57-64, 7 mar. 2020. *Revistas Processos Químicos*. <http://dx.doi.org/10.19142/rpq.v13i26.539>. Disponível em: http://ojs.rpqsenai.org.br/index.php/rpq_n1/article/view/539. Acesso em: 02 nov. 2022.

SANTOS, Marcelo Valerio dos. **Principais problemas dos motores a biogás e tecnologias de biometanização : estudo de caso**. 2016. 111 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Taubaté, Taubaté, 2016. Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/handle/20.500.11874/4723>. Acesso em: 02 nov. 2022.

SIEBERT, Cristela Marta. **Avaliação de desempenho de uma planta microgeradora de energia elétrica a partir do biogás**. 2021. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel - PR. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/5357>. Acesso em: 05 nov. 2022.

SILVA, Fábio Cruz Manhães da. **Tratamento dos dejetos Suínos utilizando Lagoa de Alta Taxa de Degradação em batelada**. 1996. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996. Disponível em: <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/76950>. Acesso em: 05 nov. 2022.

SILVA, M. O. S. A.; **Análises físico-químicas para controle de estações de tratamento de esgotos**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1977. 226 p.

SILVA, Tanize Kollhoff da; BRUCKMANN, Franciele da Silva; SALLES, Theodoro da Rosa; SOARES, Juliana Ferreira; RHODEN, Cristiano Rodrigo Bohn. Produção de biogás a partir da codigestão anaeróbia de dejetos suínos e lodo de frigorífico. **Recursos Naturais: Energia de Biomassa Florestal**, [S.L.], v. 1, n. 13, p.

165-175, 2021. Editora Científica Digital. <http://dx.doi.org/10.37885/201202649>. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.org/articles/201202649.pdf>. Acesso em: 05 nov. 2022.

SILVEIRA, Maria Beatriz Galdino da; BARBOSA, Nyedja Fialho Moraes; PEIXOTO, Ana Patrícia Bastos; XAVIER, Érika Fialho Moraes; XAVIER JÚNIOR, Sílvio Fernando Alves. Aplicação da regressão logística na análise dos dados dos fatores de risco associados à hipertensão arterial. **Research, Society And Development**, [S.L.], v. 10, n. 16, p. 0-0, 4 dez. 2021. Research, Society and Development. <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i16.22964>. Disponível em: <https://rsdjournal.org/index.php/rsd/article/view/22964>. Acesso em: 02 nov. 2022.

SILVEIRA, S. D. C., Muniz, J. A., Sousa, F. A., & Campos, A. T.. Modelos não lineares ajustados a produção acumulada de biogás provenientes de camas sobrepostas de suínos. **Revista Agroambiental**, Pouso Alegre, v. 10, n. 3, set. 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/33015> Acesso em: 02 nov. 2022.

Souza, Cecília de Fátima, Siqueira Carvalho, Cínara da Cunha, Campos, Josiane Aparecida, Teixeira Matos, Antônio, Pinto Marques Ferreira Williams. Caracterização de dejetos de suínos em fase de terminação. **Revista Ceres** 2009, 56(2), 128-133 ISSN: 0034-737X. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=305226730003>. Acesso em: 02 nov. 2022.

SOUZA, Francine Bonato de; SILVA FILHO, Antônio Carlos da. Equações diferenciais e o crescimento populacional: uma comparação entre a curva de gompertz e o modelo logístico. **Revista Eletrônica do Curso de Licenciatura em Matemática**, v. 1, n. 1, p. 1-24, 2019. Disponível em: <http://periodicos.unifacef.com.br/index.php/RELIMAT/article/view/1887>. Acesso em: 02 nov. 2022.

SOUZA, Luiza Feitosa Cordeiro de; SANTOS, Ramon Gonçalves dos; GUERRA, Emanuele Diógenes; GONÇALVES, Elizabeth Amaral Pastich; SANTOS, Simone Machado. Avaliação do potencial bioquímico de metano a partir da caracterização de resíduos sólidos orgânicos. In: SILUBESA, 19., 2020, Recife. **Anais**, Recife: Abes, 2020. p. 1-11. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento46/TrabalhosCompletoPDF/III-037.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2022.

VIEIRA, Sabrina. **Biodigestão anaeróbica do resíduo da produção de cogumelos tipo champignon de Paris (*Agaricus bisporus*)**. 2021. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2021. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/25051>. Acesso em: 02 nov. 2022.