

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EMANUEL CUNHA DE LIMA OLIVEIRA

ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO DE SUBSTRATO, EFLUENTES E BIOGÁS
PRODUZIDOS EM BIODIGESTOR MODELO LAGOA COBERTA

PALOTINA

2024

EMANUEL CUNHA DE LIMA OLIVEIRA

ANÁLISE DA CARACTERIZAÇÃO DE SUBSTRATO, EFLUENTES E BIOGÁS
PRODUZIDOS EM BIODIGESTOR MODELO LAGOA COBERTA

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

Orientadora: Profa. Dra. Dilcemara Cristina Zenatti
Coorientadora: Profa. Ma. Débora Hungaro
Micheletti

PALOTINA

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

Aos vinte e um dias do mês de junho do ano de 2024, das 14h00min às 15h30, na plataforma virtual Microsoft Teams [link](#); compareceram para defesa pública do Trabalho de Conclusão de Curso, requisito obrigatório para a obtenção do título de Engenheiro de Energia o aluno Emanuel Cunha de Lima Oliveira, tendo como Título do Trabalho de Conclusão de Curso "Análise da caracterização de substrato, efluentes e biogás produzido em biodigestor modelo lagoa coberta". Constituíram a Banca Examinadora os professores: Profa. Me. Débora Hungaro Micheletti (Coorientadora e Presidente da Banca), Profa. Dra. Isabel Romero Grova Wutkiewicz e a Profa. Dra. Adriana Ferla de Oliveira. A Coorientadora 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: **Profa. Me. Débora Hungaro Micheletti, nota: 92 (noventa e dois), Profa. Dra. Isabel Romero Grova Wutkiewicz, nota: 92 (noventa e dois), e Profa. Dra. Adriana Ferla de Oliveira, nota: 92 (noventa e dois).** A nota final do discente, após a média aritmética dos três membros da banca de exame, foi 92 (noventa e dois) 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 **Débora Hungaro Micheletti, Usuário Externo**, em 21/06/2024, às 16:28, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ISABEL ROMERO GROVA WUTKIEWICZ, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 22/06/2024, às 11:38, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **ADRIANA FERLA DE OLIVEIRA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 24/06/2024, às 14:07, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **6486952** e o código CRC **B6ACC401**.

RESUMO

A caracterização de substratos e digestatos é importante para o processo de biodigestão pois permite observar suas condições de funcionamento. O presente trabalho teve como objetivo caracterizar amostras de substrato e efluente de um biodigestor modelo lagoa coberta que processa água residual de suinocultura, amostras de biogás produzido e de substratos de três lagoas de decantação em série, assim como avaliar a eficiência do processo de biodigestão. As amostras de substrato, digestato e das três lagoas foram caracterizadas de acordo com Sólidos Totais, Sólidos Totais Fixos, Sólidos Totais Voláteis, Alcalinidade Parcial, Alcalinidade Intermediária, Alcalinidade Total, Acidez Volátil e pH. Foi realizada também a caracterização das amostras de biogás através da cromatografia gasosa. Os resultados mostraram que a taxa de remoção de sólidos do biodigestor estava abaixo do esperado quando comparado com a literatura. O pH médio do digestato estava mais ácido do que o pH médio do substrato, mas logo voltava a aumentar nas lagoas de decantação. A relação AV/AT média de todas as amostras líquidas ficou próxima ou abaixo de 0,5, demonstrando que não seriam necessárias nenhuma medida corretiva de acidez ou alcalinidade. A análise de cromatografia gasosa mostrou que o biogás produzido possui 65,83% de metano em sua composição, estando de acordo com as fontes na literatura. A partir dos resultados encontrados observou-se a possibilidade de que o biodigestor poderia estar passando por um processo de assoreamento devido às baixas taxas de remoção de sólidos e pH mais ácido do digestato do que o do substrato do biodigestor.

Palavras-chave: Biodigestor. Metano. Produção de Biogás.

ABSTRACT

Substrates and digestates characterization is important to the biodigestion process since it allows to observe its working conditions. The present work aimed to characterize samples of substrate and effluent from a covered lagoon model biodigester that processes wastewater from pig farming, samples of produced biogas and samples of substrates from three settling ponds in series, as well as evaluate the efficiency of the biodigestion process. The substrate, digestate and the three lagoon samples were characterized according to Total Solids, Total Fixed Solids, Total Volatile Solids, Partial Alkalinity, Intermediate Alkalinity, Total Alkalinity, Volatile Acidity and pH. Biogas samples were also characterized using gas chromatography. The results showed that the solids removal rate from the biodigester was below expectations when compared to the literature. The average pH of the digestate was more acidic than the average pH of the substrate, but it soon increased again in the settling ponds. The average VA/TA ratio of all liquid samples was close to or below 0.5, demonstrating that no corrective acidity or alkalinity measures would be necessary. Gas chromatography analysis showed that the biogas produced has 65.83% methane in its composition, in accordance with literature sources. From the results found, the possibility was observed that the biodigester could be undergoing a silting process due to the low solids removal rates and more acidic pH of the digestate than that of the biodigester substrate.

Key-words: Biodigester. Methane. Biogas Production.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ETAPAS DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA.....	14
FIGURA 2 - CURVA DE CRESCIMENTO MICROBIANO COM A DESCRIÇÃO DAS QUATRO FASES.....	15
FIGURA 3 - BIODIGESTOR MODELO INDIANO.....	17
FIGURA 4 - BIODIGESTOR MODELO CHINÊS.....	17
FIGURA 5 - BIODIGESTOR MODELO CANADENSE.....	18
FIGURA 6 - BIODIGESTOR MODELO UASB.....	19
FIGURA 7 - BIODIGESTOR (a) E LAGOAS DE DECANTAÇÃO (b).....	22
FIGURA 8 - LOCAIS DE COLETA DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO (a) E DIGESTATO (b).....	22
FIGURA 9 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ST, STF e STV DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO.....	28
FIGURA 10 - REMOÇÃO DE ST, STF E STV DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO.....	29
FIGURA 11 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ST, STV e STF DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO.....	30
FIGURA 12 - REMOÇÃO DE ST, STF E STV DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO.....	31
FIGURA 13 - pH DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO.....	32
FIGURA 14 - pH DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO.....	33
FIGURA 15 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE AP, AI, AT E AV DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO.....	34
FIGURA 16 - RELAÇÃO AV/AT DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO...	34
FIGURA 17 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE AP, AI, AT E AV DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS.....	35
FIGURA 18 - RELAÇÃO AV/AT DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO	36
FIGURA 19 - CROMATOGRAFIA GASOSA DAS AMOSTRAS DE BIOGÁS.....	37

LISTA DE ABREVIATURAS

AI	Alcalinidade Intermediária
AP	Alcalinidade Parcial
AT	Alcalinidade Total
AV	Acidez Volátil
CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
CG	Cromatografia Gasosa
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
HAc	Ácido Acético
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogênio
LABMATER	Laboratório de Materiais e Energias Renováveis
LAC	Líquido de Alta Concentração
LBC	Líquido de Baixa Concentração
LPB	Laboratório de Produção de Biocombustíveis
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Partes por milhão
SST	Sólidos Suspensos Totais
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
TCD	Detector de Condutividade Térmica
TRH	Tempo de Retenção Hidráulica
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UFPR	Universidade Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	9
1.1 OBJETIVOS.....	10
1.1.1 Objetivo Geral.....	10
1.1.2 Objetivos Específicos.....	10
1.2 JUSTIFICATIVA.....	10
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL.....	12
2.2 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA.....	13
2.2.1 Etapas da biodigestão anaeróbia.....	13
2.2.2 Crescimento microbiano.....	14
2.2.3 Fatores que afetam a biodigestão.....	15
2.3 BIODIGESTORES.....	16
2.4 BIOGÁS.....	19
2.5 LAGOAS DE DECANTAÇÃO.....	20
3 METODOLOGIA.....	21
3.1 COLETA DE AMOSTRAS.....	21
3.2 ANÁLISE DE SÓLIDOS.....	23
3.2.1 Materiais.....	23
3.2.2 Determinação de ST.....	23
3.2.3 Determinação de STF e STV.....	24
3.2.4 Determinação de Remoção de Sólidos.....	24
3.3 ANÁLISE DE ACIDEZ E ALCALINIDADE.....	25
3.3.1 Materiais.....	25
3.3.2 Determinação da AP, AI e AT.....	25
3.3.3 Determinação da AV.....	26
3.4 CROMATOGRAFIA GASOSA PARA CARACTERIZAÇÃO DO BIOGÁS.....	27
4 RESULTADOS.....	28
4.1 ANÁLISE DE SÓLIDOS.....	28

4.2 ANÁLISE DE ACIDEZ E ALCALINIDADE.....	32
4.3 CROMATOGRAFIA GASOSA.....	37
5 CONCLUSÃO.....	38
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	40
REFERÊNCIAS.....	41
APÊNDICE A - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO.....	49
APÊNDICE B - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO.....	52
APÊNDICE C - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ACIDEZ E ALCALINIDADE DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO.....	54
APÊNDICE D - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ACIDEZ E ALCALINIDADE DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO.....	58

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de destaque na produção de alimentos e ocupa o 4º lugar em produção e exportação de carne suína no mundo (ANDREAZZI; SANTOS; LAZARETTI, 2015). Para os órgãos de controle ambiental, a suinocultura é a atividade agropecuária que causa mais impactos ambientais (RIZZONI *et al.* 2012). É necessário encontrar sistemas alternativos que reduzam a emissão de odores, de gases nocivos e os riscos de poluição das fontes de água (OLIVEIRA; NUNES, 2005). Práticas de gestão de resíduos orgânicos como compostagem ou biodigestão não são implementadas em grande escala devido à falta de infraestrutura e de investimentos (FILHO, 2019). Uma técnica para reduzir a carga orgânica desses resíduos seria a utilização da biodigestão anaeróbia.

A biodigestão anaeróbia consiste no uso de microrganismos que, na ausência de oxigênio, digerem matéria orgânica gerando produtos de alto valor agregado: biofertilizante, que pode ser usado como adubo, e biogás, que pode ser usado na geração de energia térmica e elétrica (COELHO *et al.*, 2006). O biogás, por ser composto majoritariamente por metano, pode ser utilizado na produção de energia térmica ou elétrica (BACCA, 2023).

Muitas vezes, processos de tratamento são feitos em série para otimizar os resultados desejados. Para remoção de cargas orgânicas, faz-se comum o uso de lagoas de estabilização, ou lagoas de decantação. Essas lagoas são sistemas de tratamento biológico em que a estabilização da matéria orgânica é realizada pela oxidação bacteriológica (oxidação aeróbia ou fermentação anaeróbia) e/ou redução fotossintética das algas (IERVOLINO, 2019).

O processo de biodigestão anaeróbia exige o acompanhamento de alguns parâmetros que interferem no processo, entre eles, pH, alcalinidade parcial (AP), alcalinidade intermediária (AI), alcalinidade total (AT), acidez volátil (AV), sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF), sólidos totais voláteis (STV) e temperatura, e, por isso, faz-se importante a análise desses parâmetros (BACCA; TELEKEN, 2020).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Realizar a caracterização de amostras de substrato e efluente de um biodigestor modelo lagoa coberta, de amostras de biogás produzido e de amostras de substratos de três lagoas de decantação em série provenientes de uma propriedade suinícola de Palotina - PR.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Comparar características físico-químicas do substrato e do efluente do biodigestor ao longo do tempo para calcular a eficiência do processo;
- Comparar características físico-químicas dos substratos de cada lagoa de decantação em série para calcular a eficiência dos processos de tratamento em relação à remoção de matéria orgânica na forma de sólidos voláteis;
- Comparar os resultados da análise de cromatografia gasosa das amostras de biogás com a literatura.

1.2 JUSTIFICATIVA

A produção animal é uma das principais emissoras de gases do efeito estufa, sendo que 9% é atribuído à produção de suínos. Destes 9%, 16% é responsabilizado pela produção de metano devido ao manejo inadequado de dejetos (EMBRAPA, 2016). O correto manejo dos resíduos é fundamental nos sistemas de produção animal, já que favorece a preservação do meio ambiente, faz com que as demandas ligadas à legislação ambiental sejam atendidas e pode vir a gerar renda e/ou insumos adicionais ao produtor (RUIZ, 2017). O impacto ambiental causado pela suinocultura pode ser mitigado pela adoção de sistemas de tratamento de resíduos como a biodigestão (EMBRAPA, 2016).

O Paraná é o segundo maior produtor de suínos do país (ALMEIDA, 2024). Sabe-se que em média, 1000 kg de peso vivo suíno produzem diariamente 84 kg de resíduos (fezes e urina) (RUIZ, 2017). No município de Palotina - PR, um biodigestor modelo lagoa coberta de alimentação contínua trata água residual de suinocultura.

Devido ao aumento da capacidade produtiva da propriedade ao longo dos anos, o biodigestor em questão encontra-se subdimensionado, fazendo com que o potencial de produção de metano seja perdido. Matéria orgânica que poderia ser convertida em biogás no biodigestor é enviada às lagoas de decantação, fato evidenciado pela presença de bolhas ascendentes na superfície das mesmas.

Portanto, é importante analisar e comparar as características físico-químicas do substrato e do digestato do biodigestor para verificar se a eficiência da biodigestão não está sendo afetada por esse subdimensionamento. Caso isso esteja ocorrendo, os valores estarão em disparidade com os valores médios encontrados na literatura. Além disso, faz-se importante acompanhar e comparar as características físico-químicas das amostras provenientes das lagoas de decantação, visto que, se matéria orgânica que poderia ser convertida em biogás estiver sendo enviada às lagoas, isso deverá refletir nos resultados. Por fim, analisar a composição do biogás produzido via cromatografia gasosa irá apontar se este estaria sendo afetado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

Em 2021, segundo Aragão e Contini, a produção total de carnes (bovina, suína e de frango) no Brasil ocupou a terceira posição mundial, com 29 milhões de toneladas (9,4% do todo). Ocupando a posição de quarto lugar em produção mundial de carne suína, o Brasil foi responsável por 4,35 milhões de toneladas produzidas no ano de 2022 (EMBRAPA, 2023).

De acordo com Nascimento (2020), o Brasil ocupa a quarta posição no ranking de produção de carne suína no mundo, com 3,88% da produção global. Do todo (649.382,28 mil toneladas), 16% tem destino internacional, sendo a região Sul do País a maior produtora e exportadora. A Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná (2024) afirma que em 2023, o Paraná produziu 660,63 mil suínos a mais em relação ao ano anterior. Ao todo, foram produzidas 12 milhões de unidades em 2023 (12.138.752), ocupando a segunda posição no ranking nacional.

Segundo Naback *et al.* (2022), tais atividades podem gerar problemas ambientais mesmo contribuindo para o desenvolvimento socioeconômico. Resíduos orgânicos têm o potencial de contaminar o solo, a água e o ar caso sejam dispostos indevidamente (AZEVEDO, 2021). A média diária de produção de dejetos suínos por animal nos diferentes estágios é de 2,35 kg de esterco e 8,6 kg de dejetos líquidos (OLIVEIRA, 1993).

Deve-se conhecer as quantidades geradas e as principais características físicas e químicas de resíduos agroindustriais para se conceber e dimensionar sistemas de tratamento para dispô-los na natureza e/ou reaproveitá-los (CENTENARO; FURLAN; SOUZA-SOARES, 2008). Segundo Filho (2019), diretor da Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, são produzidas anualmente cerca de 37 milhões de toneladas de resíduos orgânicos, os quais têm potencial econômico para virar adubo, gás combustível e até mesmo energia. No entanto, apenas 1% é reaproveitado. Tem sido fundamental a busca por tecnologias que amenizam a poluição ambiental (DUARTE; MÉDICI; LEÃO, 2020). Segundo Nielsen e Angelidaki (2008), uma alternativa sustentável seria a

biodigestão anaeróbia, capaz de remover elevadas concentrações de matéria orgânica presentes em resíduos agroindustriais.

2.2 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

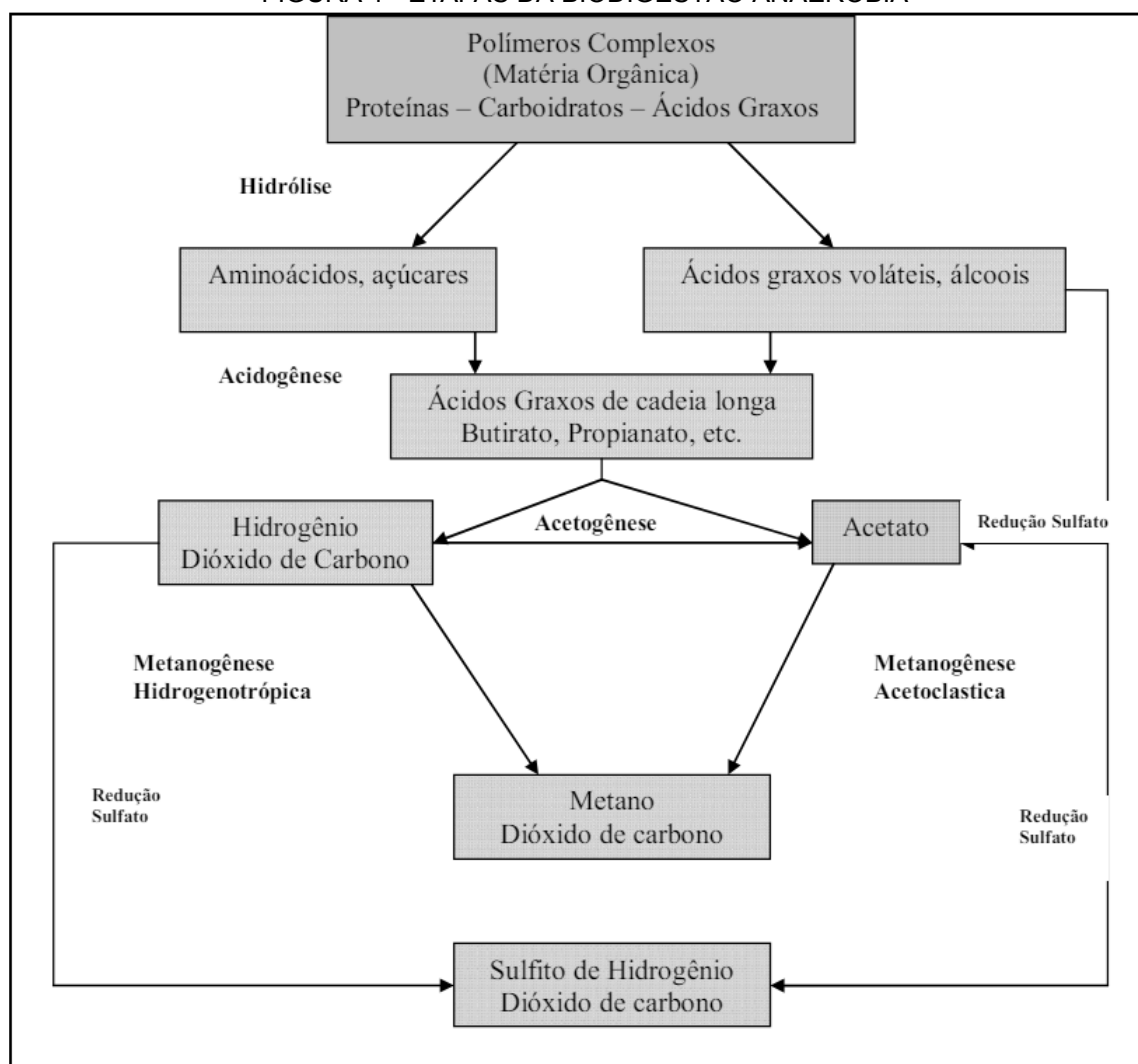
Biodigestão anaeróbia pode ser definido como o processo de decomposição da matéria orgânica sem a presença do oxigênio, gerando biogás e biofertilizante (LUIZ, 2019; ARAÚJO, 2017; CATAPAN *et al.*, 2010). O biogás produzido é composto por uma mistura de CH_4 (entre 40 e 80% dependendo da eficiência do processo, carga orgânica, pressão e temperatura durante a fermentação) e outros gases como o CO_2 (COELHO *et al.*, 2006; KUNZ; OLIVEIRA; PICCININ, 2007).

Por possuir uma alta concentração de metano, o biogás pode ser aproveitado para produzir energia elétrica enquanto reduz o potencial de poluição do meio ambiente (COELHO *et al.*, 2006). A biodigestão de complexos orgânicos necessita de uma mistura de espécies bacterianas que podem ser interdependentes para seu crescimento e para realizar a sequência de reações: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (PASQUALINI, 2020; CREMONEZ *et al.*, 2013).

2.2.1 Etapas da biodigestão anaeróbia

A biodigestão anaeróbia é um processo complexo, podendo ser resumido em quatro fases diferentes, cujo fluxograma é ilustrado na Figura 1. Na primeira etapa, chamada hidrólise, os polímeros orgânicos e complexos orgânicos como carboidratos, proteínas e lipídeos reagem com enzimas extracelulares e formam monômeros solúveis simples como aminoácidos, ácidos graxos de cadeia longa e açúcares (CAMPOS *et al.*, 1999). Na segunda etapa, chamada de acidogênese, os monômeros formados na hidrólise são quebrados por bactérias fermentativas em uma mistura de ácidos graxos voláteis e álcoois (OLIVEIRA, 2019; CAMPOS *et al.*, 1999). A terceira etapa, acetogênese, é marcada pela conversão dos ácidos graxos voláteis em acetatos, dióxido de carbono e/ou hidrogênio pelas bactérias acetogênicas, formando substratos diretos para a metanogênese, a última etapa do processo (JAIN *et al.*, 2015; ARAÚJO, 2017).

FIGURA 1 - ETAPAS DA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

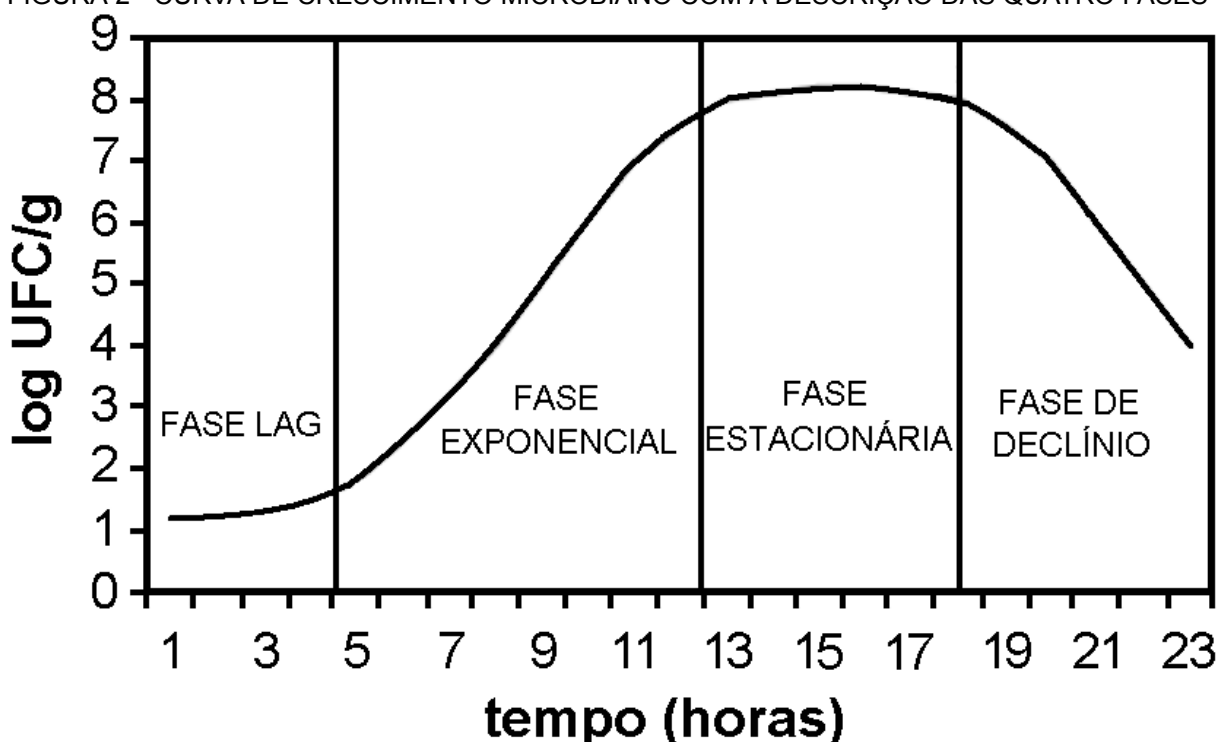


FONTE: Salomon (2007)

2.2.2 Crescimento microbiano

Silva *et al.* (2013) descreve a curva de crescimento bacteriano em quatro fases diferentes. A primeira, denominada fase *lag*, se dá por uma intensa atividade de preparação para o crescimento populacional, mas sem aumento da população em si. Em seguida, a fase *log* se dá pelo aumento logarítmico ou exponencial da população. Na terceira fase, fase estacionária, o número de morte microbiana é equilibrado pela produção de novas células. Por fim, a fase de morte celular é caracterizada pela redução da população em uma taxa logarítmica. A Figura 2 apresenta um esquema de uma curva de crescimento microbiano, descrevendo cada fase.

FIGURA 2 - CURVA DE CRESCIMENTO MICROBIANO COM A DESCRIÇÃO DAS QUATRO FASES



FONTE: Robazza, Teleken e Gomes (2010)

2.2.3 Fatores que afetam a biodigestão

Segundo Cremonez (2019), pH, tempo de retenção hidráulica (TRH), constituição dos substratos, potencial de degradação são algumas das diversas condições operacionais que podem afetar a biodigestão anaeróbia. São toleradas variações entre 6,5 e 8,0 de pH no processo de biodigestão, embora os níveis ideais para as fases iniciais estejam entre 6,8 e 7,2 (CIOABLA *et al.*, 2012; ROMANO; ZHANG, 2011).

Para um sistema de biodigestão anaeróbia, a alcalinidade pode ser definida como a capacidade do sistema em neutralizar os ácidos orgânicos formados no processo. Pode-se relacionar a AT com a AV de um meio para verificar se haverá tamponamento ou acidificação durante a biodigestão. Pode-se utilizar tamponantes para frear a acidificação, como bicarbonato de sódio (BACCA; TELEKEN, 2020; CHERNICHARO *et al.*, 2007).

A temperatura influencia diretamente na velocidade do processo de biodigestão, influenciando por consequência o TRH. Os processos anaeróbios de tratamento de resíduos podem ser classificados quanto sua temperatura de operação. Processos que ocorrem entre 45 e 60 °C são chamados de termofílicos.

Processos que ocorrem entre 20 e 45 °C são considerados mesofílicos. Processos que ocorrem em temperaturas menores que 20 °C são considerados psicrófilos (PASQUALINI, 2020; CHERNICHARO *et al.*, 2007). A porcentagem de metano no biogás é maior quando a fermentação ocorre em temperaturas mais elevadas (ARAÚJO, 2017; LEITE, 2015). Segundo Gonçalves (2018), quanto menores as oscilações de temperatura, melhor será a produção de metano. Variações de temperatura de até 3 °C podem afetar consideravelmente, podendo até cessar o processo de biodigestão (CREMONEZ, 2019).

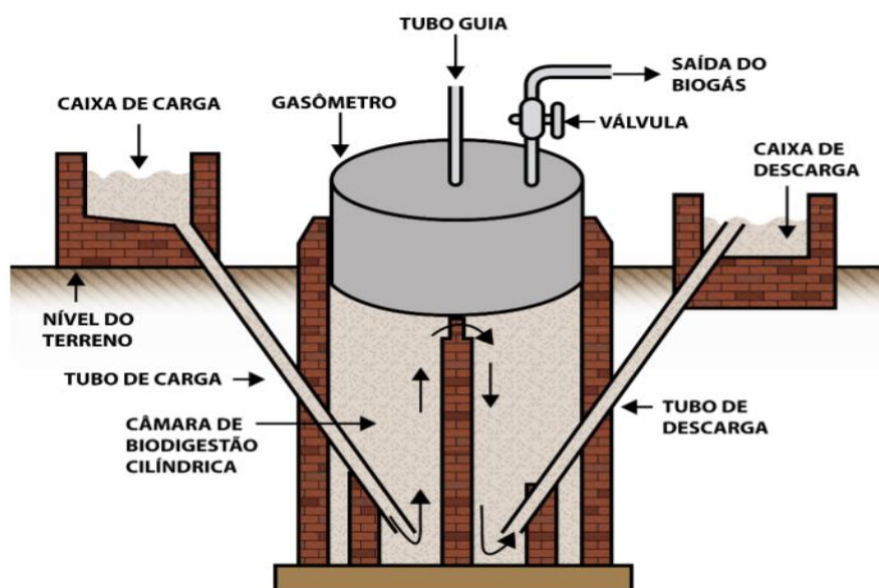
É possível determinar o TRH a partir do balanço de massas pelo tempo de entrada e saída dos compostos orgânicos dentro do reator, já que ele corresponde ao tempo necessário para que o resíduo passe completamente pelo reator, independentemente do seu regime hidráulico (ARAÚJO, 2017; CREMONEZ, 2019). Segundo Salomon (2007), o TRH pode variar de acordo com o tipo de biomassa utilizada, do tipo de digestor, além de outros fatores, mas pode variar desde dias até horas dependendo se foi utilizado biodigestores rurais e industriais respectivamente.

2.3 BIODIGESTORES

Segundo Meier (2019), o biodigestor pode ser definido como uma câmara fechada que tem como objetivo manter o meio anaeróbio, onde ocorrerá a biodigestão. Existem diversos modelos, mas os mais comuns são o indiano, o chinês, o canadense e o *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB ou Manto de Lodo Anaeróbio de Fluxo Ascendente) (BACCA, 2023).

O biodigestor modelo indiano, ilustrado na Figura 3, possui uma campânula no lugar de um gasômetro convencional, podendo estar mergulhada sobre a biomassa ou em um selo d'água externo. Uma parede central divide o tanque de fermentação em duas câmaras e faz com que o material circule por toda a câmara (LUIZ, 2019).

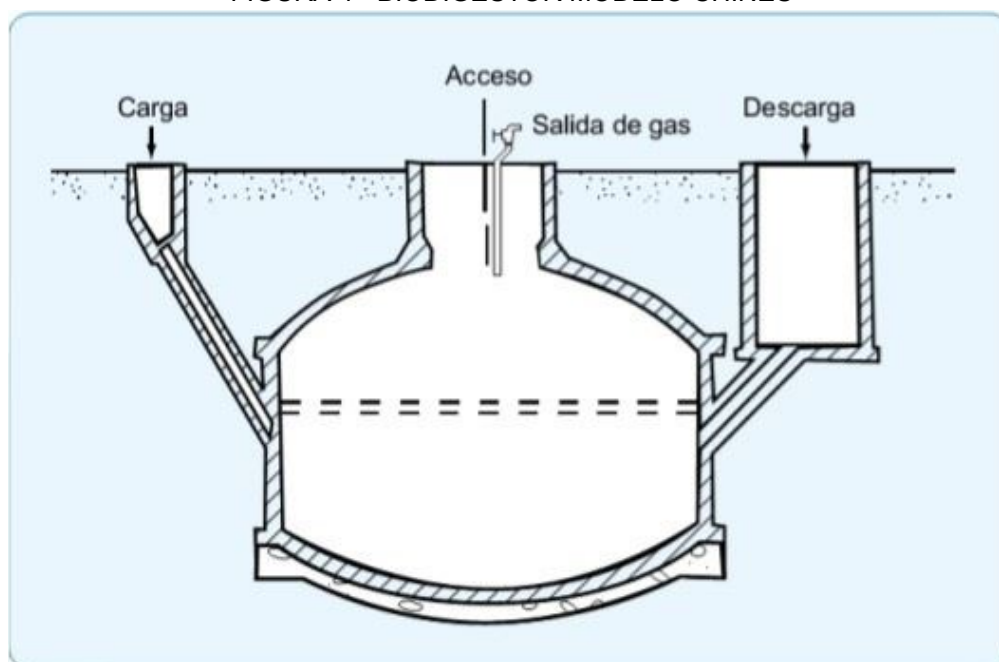
FIGURA 3 - BIODIGESTOR MODELO INDIANO



FONTE: Oliveira (2018)

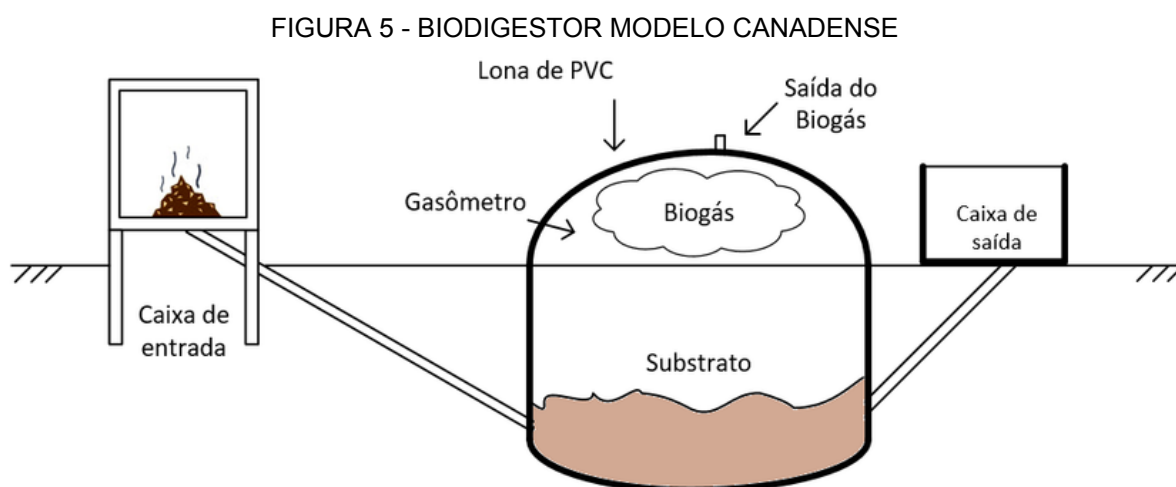
O modelo chinês, conforme o esquema ilustrado na Figura 4, caracteriza-se por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação com teto impermeável para armazenar biogás. O aumento da pressão no interior devido ao acúmulo de gás desloca o efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída (LUIZ, 2019; AZEVEDO, 2021).

FIGURA 4 - BIODIGESTOR MODELO CHINÊS



FONTE: Embrapa (2016)

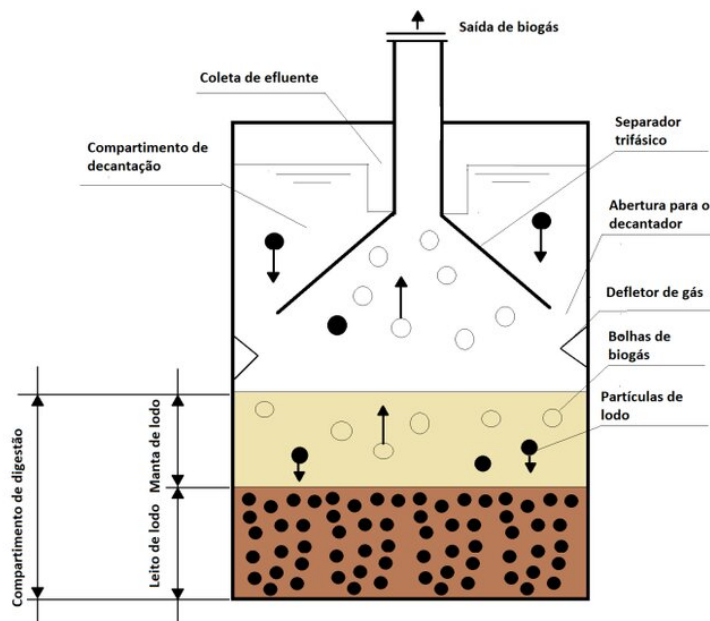
O modelo canadense, também chamado de lagoa coberta, foi o modelo estudado neste trabalho. Este é o modelo mais comum no Brasil, pois pode ser construído com volumes superiores aos demais e apresenta relativa simplicidade de se construir e manter. Ele possui uma caixa de entrada horizontal em alvenaria que, devido ao formato, favorece a exposição aos raios solares, mantendo assim altas temperaturas (BACCA, 2023; AZEVEDO, 2021; LUIZ, 2019). A Figura 5 ilustra um biodigestor modelo canadense.



FONTE: Comerio *et al.* (2019)

O biodigestor UASB, ilustrado na Figura 6, possui um separador no topo para cuidar do fluxo ascendente do afluente. Esse tipo de reator exige que seja feito um pré-tratamento nos resíduos que serão tratados, apresentando baixa concentração de ST (<2%). Dado a complexidade de funcionamento e elevados custos, é o tipo de reator menos utilizado em propriedades rurais. O uso mais comum é no tratamento de esgoto doméstico (AZEVEDO, 2021).

FIGURA 6 - BIODIGESTOR MODELO UASB



FONTE: Barros (2016)

2.4 BIOGÁS

Segundo Coelho *et al.* (2006), o biogás é uma mistura gasosa, produto da biodigestão anaeróbia. Essa mistura é composta em sua maioria por metano (entre 40 e 80% dependendo da eficiência do processo, carga orgânica, pressão e temperatura durante a fermentação) e dióxido de carbono, com outros gases em menor quantidade como monóxido de carbono, gás sulfídrico e nitrogênio (KUNZ; OLIVEIRA; PICCININ, 2007; CATAPAN *et al.*, 2010).

Por possuir uma alta concentração de metano, o biogás pode ser aproveitado para produzir energia elétrica enquanto reduz o potencial de poluição do meio ambiente (COELHO *et al.*, 2006). Segundo Bacca (2023), 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. Gases inertes como o CO_2 e o N_2 interferem diretamente no potencial energético do biogás pois não servem como combustível e ainda ocupam volume (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Por ser um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa, a possibilidade de gerar eletricidade ao mesmo tempo em que se queima metano, diminuindo em 23 vezes o potencial de poluição ao ser convertido em CO_2 , é atraente (OBREGON *et al.* 2022). Segundo Walsh *et al.* (1989), nas condições

normais de pressão e temperatura (CNPT), o poder calorífico inferior (PCI) do metano puro é de 34.300 kJ/m^3 , enquanto que o do biogás pode variar entre 13.720 e 27.440 kJ/m^3 a depender de sua diluição. Segundo Angelidaki *et al.* (2018), existem diferentes tratamentos visando remover os compostos indesejáveis do biogás, expandindo assim sua gama de aplicações, como a separação por membrana, lavagem com água a alta pressão e adsorção química.

2.5 LAGOAS DE DECANTAÇÃO

Os sistemas de lagoas de estabilização ou de decantação constituem a forma mais simples de tratamento de águas residuárias. São altamente recomendados para países em desenvolvimento e de áreas de clima quente pois possuem um grande número de locais com disponibilidade de terra suficiente, possuem clima favorável (altas temperaturas e luz solar), são de operação simples e requerem poucos ou nenhum equipamento (VON SPERLING; CHERNICHARO, 2005).

Segundo a Organização Mundial da Saúde, as lagoas de decantação constituem a tecnologia mais apropriada para o reúso dos efluentes na agricultura (WHO, 1989). O efluente de lagoas de decantação possuem alto grau de polimento, tanto em termos de matéria orgânica, como de microrganismos patogênicos (SILVA, 1982). Segundo Andrade Neto (1994), o elevado tempo de retenção hidráulica (TRH), característica de sistemas de lagoas de estabilização, aliado aos fatores adversos aos microrganismos patogênicos desenvolvidos nestes sistemas, são os responsáveis pela produção de efluentes de boa qualidade bacteriológica e ricos em nutrientes inorgânicos, tendo grande valor fertilizante.

3 METODOLOGIA

3.1 COLETA DE AMOSTRAS

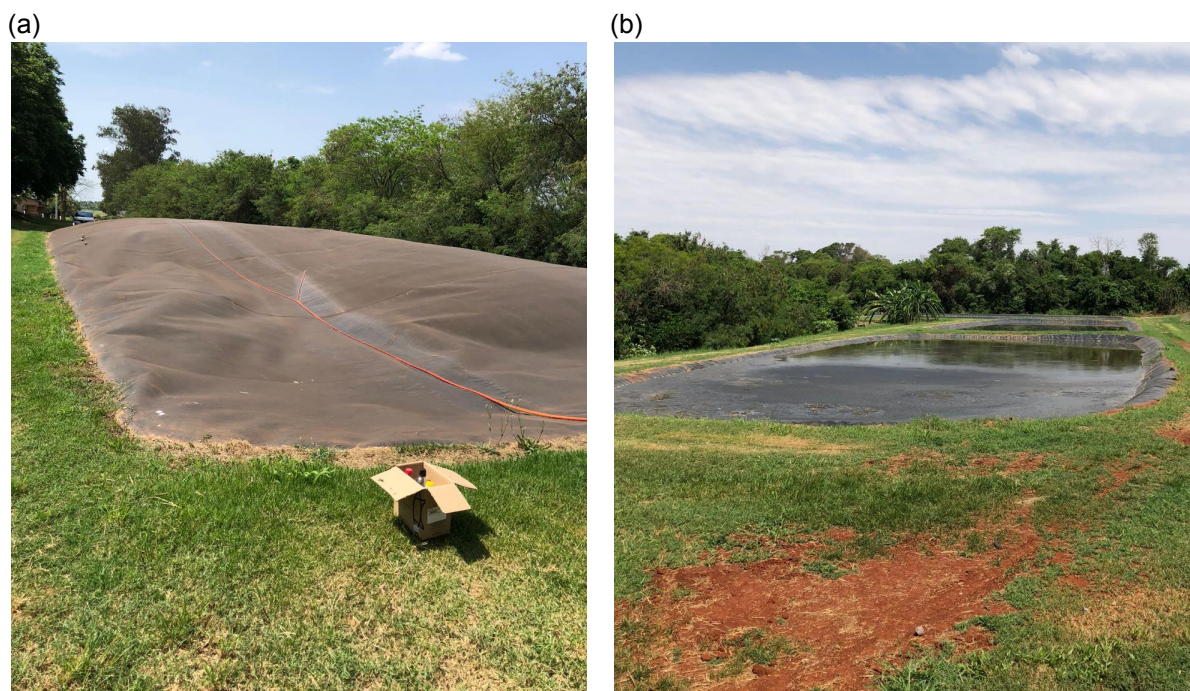
Foi realizada a coleta de amostras do material de entrada do biodigestor (substrato) e do material de saída (digestato) proveniente de uma propriedade suinícola de Palotina-PR. Essa propriedade é uma Unidade de Produção de Leitões (UPL) que vende leitões descrechados, tendo capacidade de 1100 matrizes, 1870 animais em maternidade e 3600 em creche. O digestato passa por um sistema de tratamento com três lagoas de decantação em série. O biodigestor funciona em processo contínuo.

Para verificar o rendimento do processo de biodigestão e da decantação de cada lagoa, coletou-se 15 amostras de substrato, 15 amostras de digestato e 8 amostras da saída de cada lagoa de decantação. Todas essas amostras foram coletadas em garrafas plásticas de 500 mL e armazenadas em refrigeração até os dias determinados para análises.

Delimitou-se também que deveria ser realizada a coleta de amostras de biogás na propriedade suinícola para verificar a sua pureza. Verificou-se a presença de um desumidificador na linha do biogás, antes do motor de queima, portanto, coletou-se amostras antes e depois dele. Essas amostras foram coletadas utilizando-se de ampolas gasométricas de 37 mL e armazenadas a temperatura ambiente.

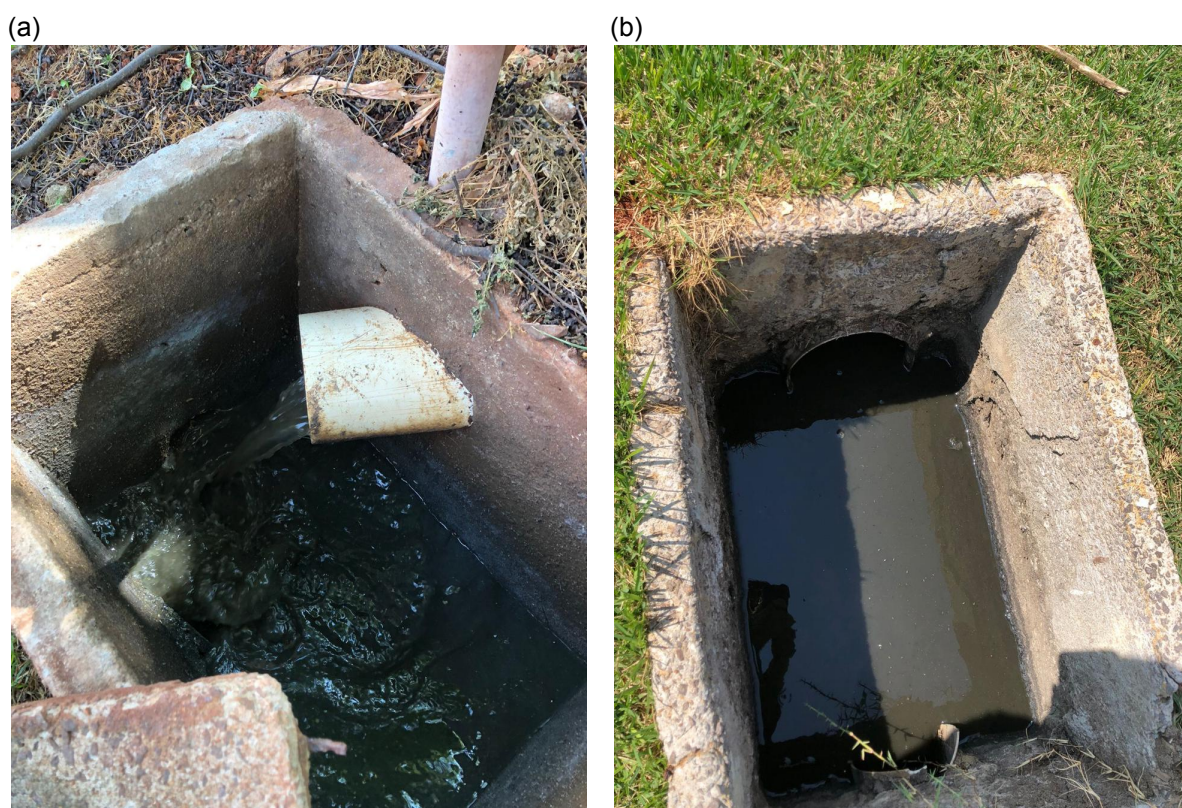
O período de coleta de todas as amostras ocorreu entre 11 de setembro de 2023 e 21 de novembro de 2023, totalizando neste período 10 semanas. A Figura 7 mostra o biodigestor (a) e as lagoas de decantação (b) da propriedade em questão. A Figura 8 mostra os locais de coleta das amostras de substrato (a) e de digestato (b).

FIGURA 7 - BIODIGESTOR (a) E LAGOAS DE DECANTAÇÃO (b)



FONTE: O autor (2024)

FIGURA 8 - LOCAIS DE COLETA DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO (a) E DIGESTATO (b)



FONTE: O autor (2024)

3.2 ANÁLISE DE SÓLIDOS

As análises de sólidos descritas a seguir foram realizadas no Laboratório de Produção de Biocombustíveis (LPB) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Setor Palotina.

3.2.1 Materiais

- Balança analítica (precisão $\pm 0,0001$ g);
- Dessecador contendo sílica anidra;
- Estufa, a 103-105 °C;
- Forno tipo mufla, a 550 °C;
- Cadinhos de porcelana

3.2.2 Determinação de ST

A análise de ST foi determinada pelo método 2540 SOLIDS (APHA, 2023). Inicialmente, preparou-se os cadinhos de porcelana, calcinando-os na mufla a 550 °C até apresentarem massa constante e resfriou-os em dessecador. Determinou-se então a massa (M_1), em mg, em balança analítica. Transferiu-se então o volume da amostra (V_1), em mL, de tal forma que a quantidade de resíduo não superasse 200 mg. A amostra foi então secada em estufa a 103-105 °C até a massa constante e determinou-se a massa do conjunto após o resfriamento em dessecador (M_2), em mg. A taxa de ST (mg/L) foi calculada pela equação (1):

$$ST = \frac{(M_2 - M_1) \times 1000}{V_1} \quad (1)$$

Onde:

ST = Taxa de sólidos totais (mg/L);

M_1 = Massa do cadinho dessecado vazio (mg);

M_2 = Massa do cadinho com amostra seca (mg);

V_1 = Volume da amostra (mL).

3.2.3 Determinação de STF e STV

A análise de STF e STV foi determinada pelo método 2540 SOLIDS (APHA, 2023). Após a determinação da concentração de ST, calcinou-se os cadinhos com as amostras em forno tipo mufla a 550 °C até apresentarem massa constante. Determinou-se a massa (M_3), em mg, do conjunto após resfriar em dessecador na balança analítica. Calculou-se a remoção de STF (mg/L) e STV (mg/L) pelas respectivas equações (2) e (3):

$$STF = \frac{(M_3 - M_1) \times 1000}{V_1} \quad (2)$$

$$STV = \frac{(M_2 - M_3) \times 1000}{V_1} \quad (3)$$

Onde:

STF = Taxa de sólidos totais fixos (mg/L);

STV = Taxa de sólidos totais voláteis (mg/L);

M_1 = Massa do cadinho dessecado vazio (mg);

M_2 = Massa do cadinho com amostra seca (mg);

M_3 = Massa do cadinho com amostra calcinada (mg);

V_1 = Volume da amostra (mL).

3.2.4 Determinação de Remoção de Sólidos

Para se determinar as taxas de remoção de cada tipo de sólidos, utilizou-se as seguintes equações:

$$Rem_{ST} = \frac{ST_1 - ST_2}{ST_1} \quad (4)$$

$$Rem_{STF} = \frac{STF_1 - STF_2}{STF_1} \quad (5)$$

$$Rem_{STV} = \frac{STV_1 - STV_2}{STV_1} \quad (6)$$

Onde:

Rem_{ST} = Taxa de remoção de ST;

ST_1 = Taxa de ST na entrada do processo;

ST_2 = Taxa de ST na saída do processo;

Rem_{STF} = Taxa de remoção de STF;

STF_1 = Taxa de STF na entrada do processo;

STF_2 = Taxa de STF na saída do processo;

Rem_{STV} = Taxa de remoção de STV;

STV_1 = Taxa de STV na entrada do processo;

STV_2 = Taxa de STV na saída do processo.

Para cada processo, considerou-se diferentes taxas de sólidos. Para o cálculo de remoção de sólidos do biodigestor, considerou-se a entrada como o substrato e a saída como o digestato. Para a Lagoa 1, a entrada foi considerada o digestato e a saída considerada como a amostra da Lagoa 1. Para a Lagoa 2, a entrada foi considerada a amostra da Lagoa 1 e a saída considerada como a amostra da Lagoa 2. Para a Lagoa 3, a entrada foi considerada como a amostra da Lagoa 2 e a saída considerada como a amostra da Lagoa 3.

3.3 ANÁLISE DE ACIDEZ E ALCALINIDADE

As análises de acidez e alcalinidade descritas a seguir foram feitas no LPB da UFPR - Setor Palotina.

3.3.1 Materiais

- Agitador magnético e barra magnética de 6X20 mm ou 7X25 mm
- Aquecedor
- Balança analítica (precisão $\pm 0,0001$ g)

3.3.2 Determinação da AP, AI e AT

Foram realizadas as análises de AP, AI e AT utilizando o método 2320 ALKALINITY (APHA, 2023). Primeiramente, calibrou-se o pHmetro com soluções

padrão de pH 7,00 e pH 4,00, à temperatura ambiente. Caso fosse necessário devido à presença de sólidos em suspensão, as amostras eram centrifugadas por 3 minutos a 1500 rpm. Transferiu-se as amostras para frascos erlenmeyer com capacidade de 250 mL. Aferiu-se o pH das amostras. Titulou-se as amostras sob agitação magnética, através da adição de solução padronizada de H_2SO_4 0,01 N, até pH 5,75. Anotou-se o valor gasto (V_1), em mL. Continuou-se a adicionar a solução ácida até pH 4,30. Anotou-se o valor gasto (V_2), em mL. Calculou-se AP, AI e AT (mg_{CaCO_3}/L) pelas respectivas equações (7), (8) e (9):

$$AP = \frac{V_1 \times N_{H_2SO_4} \times 50.000}{V_{amostra}} \quad (7)$$

$$AI = \frac{V_2 \times N_{H_2SO_4} \times 50.000}{V_{amostra}} \quad (8)$$

$$AT = \frac{(V_1 + V_2) \times N_{H_2SO_4} \times 50.000}{V_{amostra}} \quad (9)$$

Onde:

AP = Alcalinidade Parcial (mg_{CaCO_3}/L);

AI = Alcalinidade Intermediária (mg_{CaCO_3}/L);

AT = Alcalinidade Total (mg_{CaCO_3}/L);

V_1 = Volume gasto da solução padronizada de H_2SO_4 para o pH chegar a 5,75 (mL);

$N_{H_2SO_4}$ = Normalidade da solução padronizada de H_2SO_4 ;

V_2 = Volume gasto da solução padronizada de H_2SO_4 para o pH chegar a 4,30 (mL);

$V_{amostra}$ = Volume da amostra (mL).

3.3.3 Determinação da AV

Foi determinado AV conforme o método 2310 ACIDITY (APHA, 2023). Após reduzir o pH das amostras até 4,30, reduziu-se até 3,30 com adição da solução de H_2SO_4 . Ferveu-se as amostras em chapa aquecedora por 3 minutos para remover o dióxido de carbono presente. Resfriou-se as amostras em banho de água até a temperatura ambiente. Adicionou-se às amostras solução padronizada de NaOH

0,005 M até pH 4,00 e desprezou-se esse volume. Titulou-se as amostras com solução padronizada de NaOH 0,005 M até pH 7,00 e anotou-se esse volume (V), em mL. Calculou-se AV ($\text{mg}_{\text{HAC}}/\text{L}$) pela equação (10):

$$AV = \frac{V \times N_{\text{NaOH}} \times 60.000}{V_{\text{amostra}}} \quad (10)$$

Onde:

AV = Acidez Volátil ($\text{mg}_{\text{HAC}}/\text{L}$);

V = Volume da solução padronizada de NaOH gasto para elevar o pH da amostra de pH 4,00 até pH 7,00;

N_{NaOH} = Normalidade da solução padronizada de NaOH;

V_{amostra} = Volume da amostra (mL).

3.4 CROMATOGRAFIA GASOSA PARA CARACTERIZAÇÃO DO BIOGÁS

As análises de cromatografia gasosa foram realizadas no Laboratório de Materiais e Energias Renováveis (LABMATER), no Setor Palotina da UFPR.

Seguindo a metodologia estabelecida por Penteado *et al.* (2013), determinou-se a composição do biogás por cromatografia gasosa com cromatógrafo a gás micro CG, *Thermo Scientific*, com nano detector de condutividade térmica (TCD) e colunas tipo *Plot* - MS5A e do tipo *Bond- U*, utilizando hélio como gás de arraste. Ajustou-se a temperatura do injetor para 200 °C e a detecção foi realizada em TCD a 230 °C.

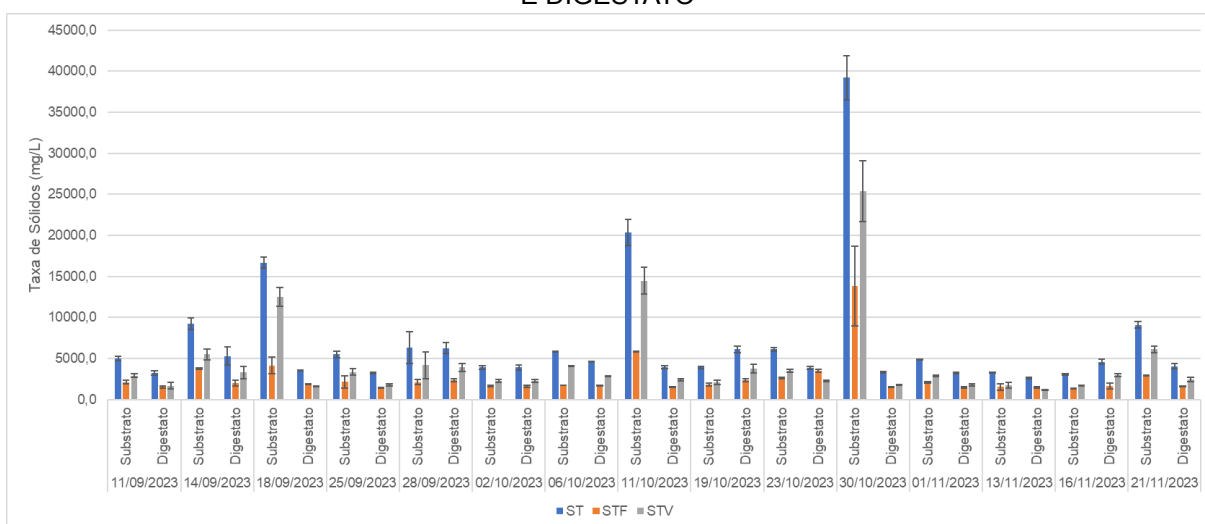
Obteve-se as curvas de calibração para os gases hidrogênio, nitrogênio, metano e dióxido de carbono com volume de injeção variando entre 50 e 600 μL para quantificar os componentes do biogás.

4 RESULTADOS

4.1 ANÁLISE DE SÓLIDOS

Os resultados das análises de sólidos das amostras de substrato e digestato foram apresentados na Figura 9 e os valores desses resultados estão disponíveis no Apêndice A.

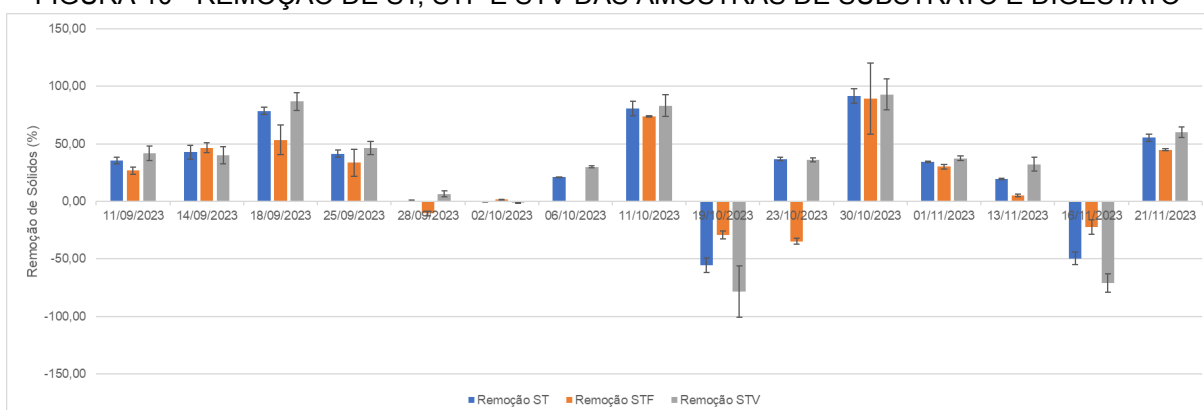
FIGURA 9 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ST, STF e STV DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO



FONTE: O autor (2024)

A partir dos resultados dispostos na Figura 9, foi possível calcular que, em média, a taxa de ST do substrato e do digestato foram respectivamente $4910,1 \pm 9,0$ mg/L e $3610,0 \pm 4,6$ mg/L. As taxas de STF médias para o substrato e o digestato foram respectivamente $4334,7 \pm 15,5$ mg/L e $1883,5 \pm 4,3$ mg/L. As taxas de STV médias para o substrato e o digestato foram respectivamente $1760,3 \pm 4,7$ mg/L e $1660,9 \pm 8,7$ mg/L. Dessa forma, calculou-se a remoção de ST, STF e STV no processo de biodigestão, cujo resultados estão expostos na Figura 10 e os valores das remoções estão disponíveis no Apêndice A.

FIGURA 10 - REMOÇÃO DE ST, STF E STV DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO



FONTE: O autor (2024)

A partir dos resultados dispostos na Figura 10, calculou-se as remoções percentuais médias de ST, STF e STV, que foram de $(28,76 \pm 3,06)\%$, $(20,54 \pm 5,48)\%$ e $(29,43 \pm 6,54)\%$, respectivamente. Os resultados negativos para ST, STF e STV mostrados na Figura 10 demonstram que haviam sólidos não digeridos passando pelo biodigestor. Esse fato acaba sendo um indicativo de assoreamento no biodigestor.

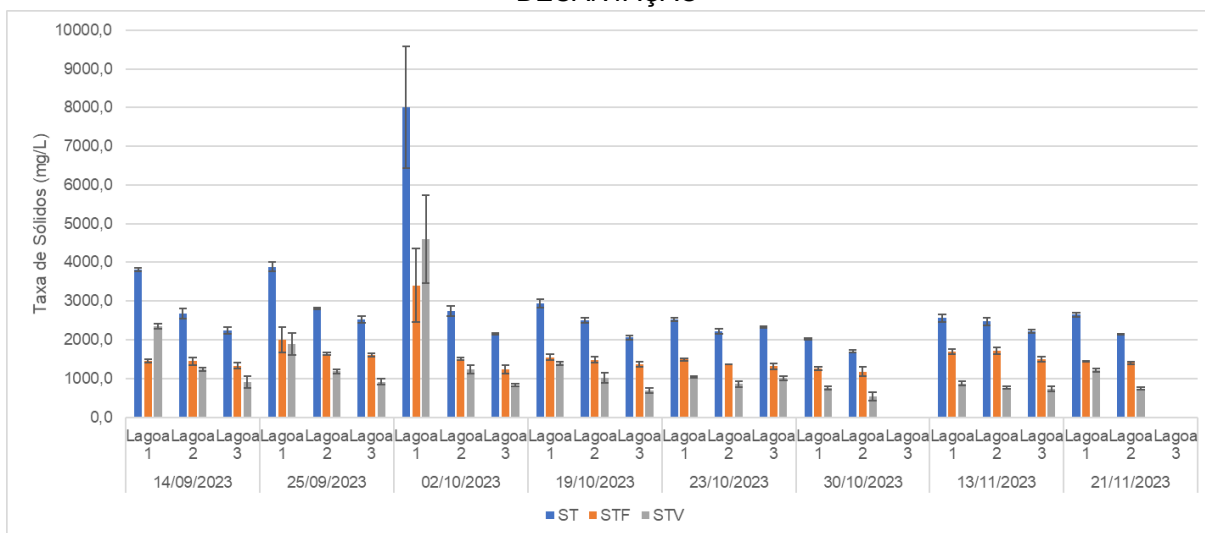
A suinocultura gera quantidades significativas de águas residuais, caracterizadas por altas concentrações de sólidos. A concentração de sólidos na água residuária de suinocultura depende de uma associação de fatores como a quantidade de água gasta na higienização das baias e o número e idade dos animais (OLIVEIRA *et al.* 2000). Lincho *et al.* (2024) caracterizaram resíduo suíno proveniente de uma propriedade suinícola na região central de Portugal, diluído com água destilada (8% do volume) para simular água residual de suinocultura, com taxa de ST igual a 1,706 g/L. Oliveira *et al.* (2000) caracterizaram água residuária de local de descarga de uma granja suinícola de terminação com 2,4 g/L de ST. Vivan *et al.* (2010) estudaram a eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos provenientes da Estação de Tratamento de Dejetos Suínos (ETDS), unidade central para o tratamento de efluentes dos sistemas de produção de suínos da Embrapa Suínos e Aves. Em seu estudo, caracterizaram os dejetos com $35,79 \pm 7,96$ g/L de ST, $10,38 \pm 2,20$ g/L de STF e $24,78 \pm 5,76$ g/L de STV.

A remoção de sólidos, especialmente os voláteis, reflete a remoção da carga orgânica do sistema (SILVA *et al.* 2015). Segundo Bacca (2023), o potencial de geração de biogás é diretamente proporcional à concentração de STV. Amaral *et*

al. (2004) obteve remoção de STV de dejetos de bovinos leiteiros através da biodigestão anaeróbia, variando entre 26,42 e 40,64%, com média de 34,29%. Zhao *et al.* (2016) verificaram que a remoção de STV pode alcançar até 70% devido à alta biodegradabilidade da matéria orgânica presente nos dejetos suínos. No tratamento de dejetos de uma granja com sistema de crescimento e terminação de suínos e com dois biodigestores modelo canadense em série, Silva *et al.* (2015) alcançaram a remoção de 48% de ST e 61% de STV. No tratamento de águas residuárias de propriedades suinícolas, Henn *et al.* (2004) alcançaram 88% de remoção de ST e 96% de remoção de STV, enquanto que Kunz *et al.* (2005) alcançaram 92% e 78,8% respectivamente.

Os resultados das análises de ST, STV e STF das amostras das lagoas de decantação se encontram na Figura 11 e os valores desses resultados estão disponíveis no Apêndice B. Resultados das análises para as amostras da Lagoa 3 retiradas nos dias 30 de outubro e 21 de novembro não aparecem na Figura 11 pois as amostras foram perdidas em um acidente no laboratório.

FIGURA 11 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ST, STV e STF DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO

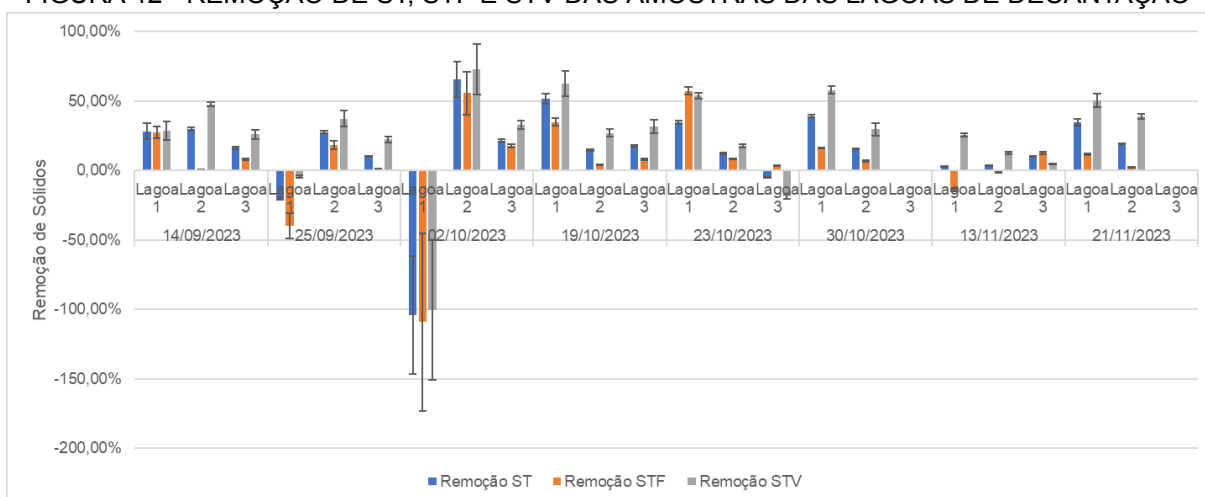


FONTE: O autor (2024)

A partir dos resultados dispostos na Figura 11, foi possível calcular que, as taxas médias de ST, STF e STV da Lagoa 1 foram respectivamente $2434,8 \pm 14,9$ mg/L, $1440,6 \pm 9,0$ mg/L e $1096,7 \pm 12,4$ mg/L. As taxas médias de ST, STF e STV da Lagoa 2 foram respectivamente $2335,2 \pm 13,6$ mg/L, $1523,6 \pm 18,8$ mg/L e $885,7 \pm 17,1$ mg/L. As taxas médias de ST, STF e STV da Lagoa 3 foram respectivamente

2204,8 $\pm$ 12,7 mg/L, 1455,3 $\pm$ 26,8 mg/L e 845,1 $\pm$ 21,8 mg/L. Dessa forma, calculou-se a remoção de ST, STF e STV no processo de biodigestão, cujo resultados estão expostos na Figura 12 e os valores das remoções estão disponíveis no Apêndice B.

FIGURA 12 - REMOÇÃO DE ST, STF E STV DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO



FONTE: O autor (2024)

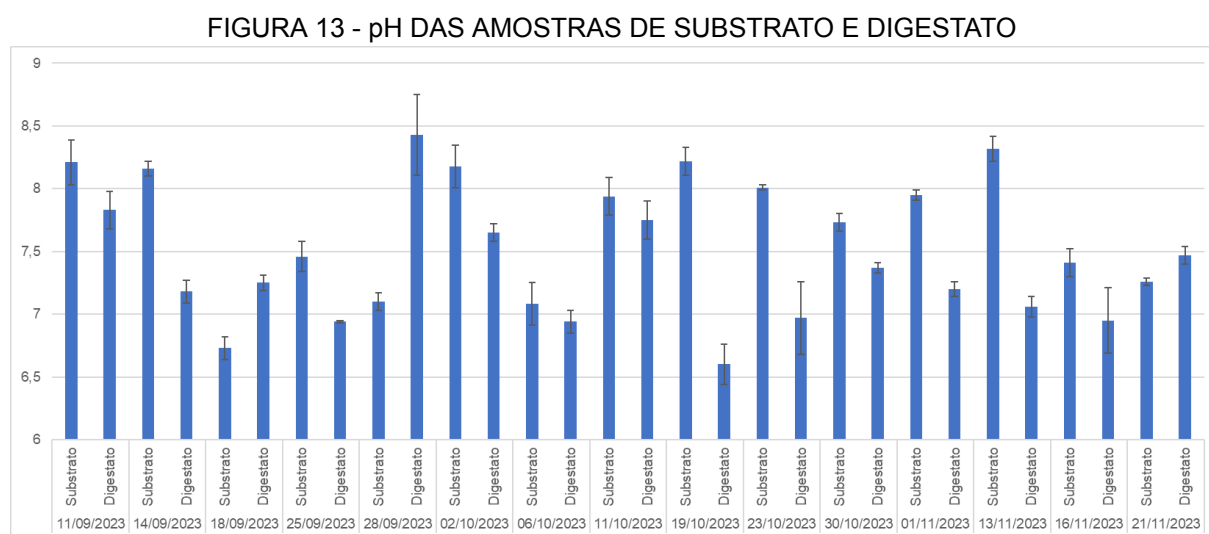
A partir dos resultados dispostos na Figura 12, foi possível calcular que as porcentagens médias de remoção de ST, STF e STV da Lagoa 1 foram (8,53 $\pm$ 7,27)%, (-1,93 $\pm$ 10,58)% e (21,83 $\pm$ 9,73)% respectivamente. As porcentagens médias de remoção de ST, STF e STV da Lagoa 2 foram (23,57 $\pm$ 2,12)%, (12,00 $\pm$ 2,48)% e (35,54 $\pm$ 4,56)% respectivamente. As porcentagens médias de remoção de ST, STF e STV da Lagoa 3 foram (11,95 $\pm$ 0,60)%, (8,72 $\pm$ 0,62)% e (16,64 $\pm$ 2,56)% respectivamente.

Utilizando-se de um sistema de lagoas de estabilização para o tratamento de águas residuárias de suinocultura, Costa e Medri (2002) removeram 87% dos ST e 91% dos STV. Silva (2003) ao investigar a eficiência de remoção de matéria orgânica de dejetos suínos em fase de recria e terminação utilizando um sistema de tratamento constituído de quatro diferentes tipos de lagoas de estabilização em série, removeu 89% dos ST e 92% dos STV. Costa, Medri e Perdomo (1997) calcularam a eficiência de remoção de ST como 92% e de STV como 94% para um sistema composto por decantador de palhetas, lagoas anaeróbias, facultativa e de aguapé cujo objetivo era tratar dejetos suínos. Segundo Desye *et al.* (2022), lagoas de estabilização têm como principal função a remoção de matéria orgânica como

demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e sólidos suspensos totais (SST). Segundo Hamilton e Zhang (2016), SST são sólidos que permanecem intactos quando adicionados à água, podendo ou não fazerem parte dos STV. Os resultados encontrados na literatura superam muito os valores calculados para remoção de sólidos de cada lagoa de decantação. Isso pode ser explicado pela passagem de sólidos não digeridos pelo biodigestor, passando para as lagoas. Como as lagoas não são meios anaeróbios, o potencial para digerir essa matéria pela biodigestão seria muito mais baixo do que o potencial do biodigestor.

4.2 ANÁLISE DE ACIDEZ E ALCALINIDADE

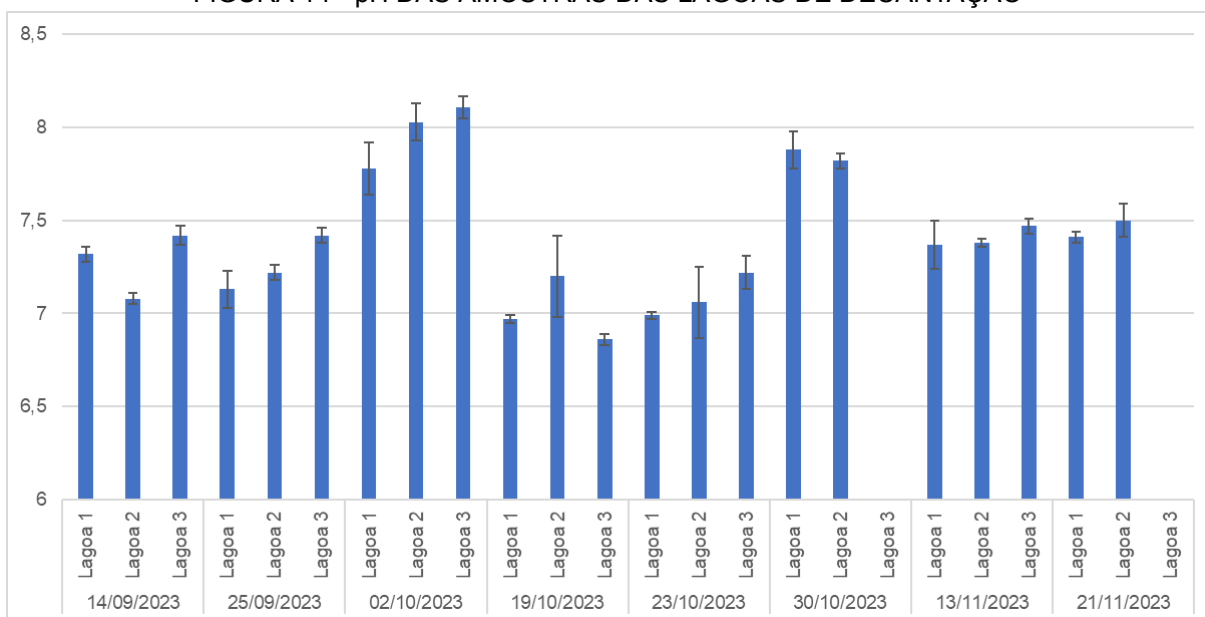
A Figura 13 apresenta os valores de pH referentes às amostras de substrato e digestato, enquanto que a Figura 14 apresenta os valores de pH referentes às amostras das lagoas.



FONTE: O autor (2024)

A partir dos resultados dispostos na Figura 13, obteve-se o pH médio das amostras do substrato foi de $7,78 \pm 0,01$, enquanto que o das amostras do digestato foi de $7,01 \pm 0,01$.

FIGURA 14 - pH DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO



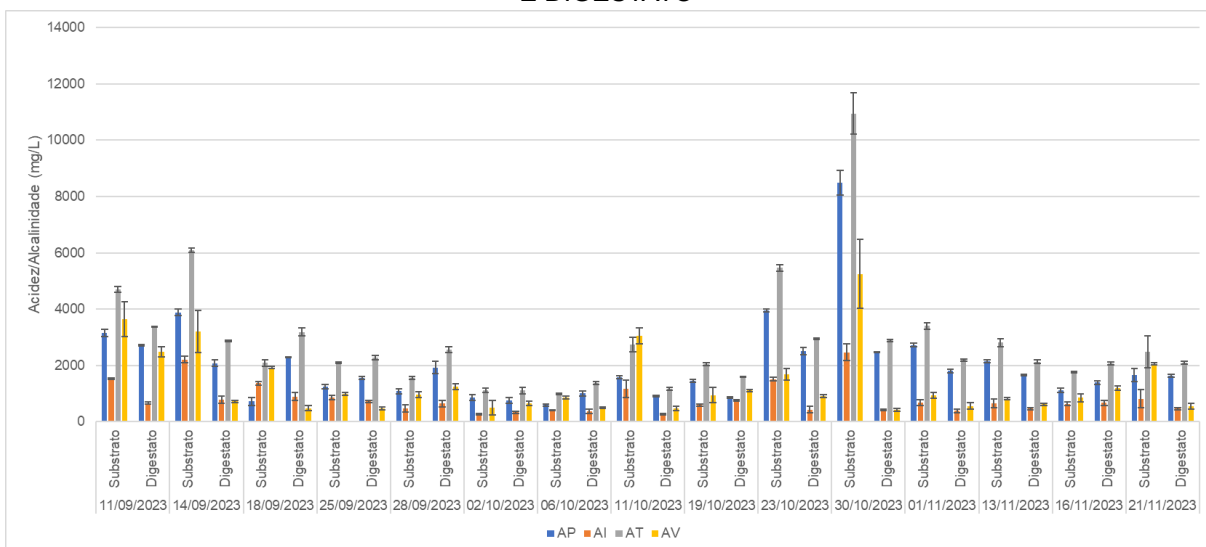
FONTE: O autor (2024)

As Lagoas 1, 2 e 3 possuem os pHs médios respectivos de $7,10 \pm 0,01$, $7,36 \pm 0,01$ e $7,29 \pm 0,02$, conforme calculado a partir dos resultados apresentados na Figura 14.

É reconhecido na literatura o fato de que dejetos suínos possuem o pH próximo da neutralidade. O estudo de Oliveira *et al.* (2000) encontrou valores variando entre 6,3 e 7,0, enquanto Vivan *et al.* (2010) constatou o valor de $7,12 \pm 0,23$. O estudo de Leite, Vich e Callado (2021) encontrou valores variando entre 6,80 e 7,94 para o substrato, e variando entre 7,45 e 8,22 para o efluente. Segundo os autores, o pH tende a se elevar devido ao consumo de ácidos voláteis durante a biodigestão anaeróbia, o que não foi observado no processo do biodigestor em questão, mas observou-se o aumento do pH nas lagoas de decantação. Uma faixa ótima de pH para o desenvolvimento de arqueias metanogênicas é de 6,6 a 7,4 (CHERNICHARO, 2008).

A Figura 15 mostra os resultados das análises de acidez e alcalinidade para as amostras de substrato e digestato e os valores desses resultados estão disponíveis no Apêndice C.

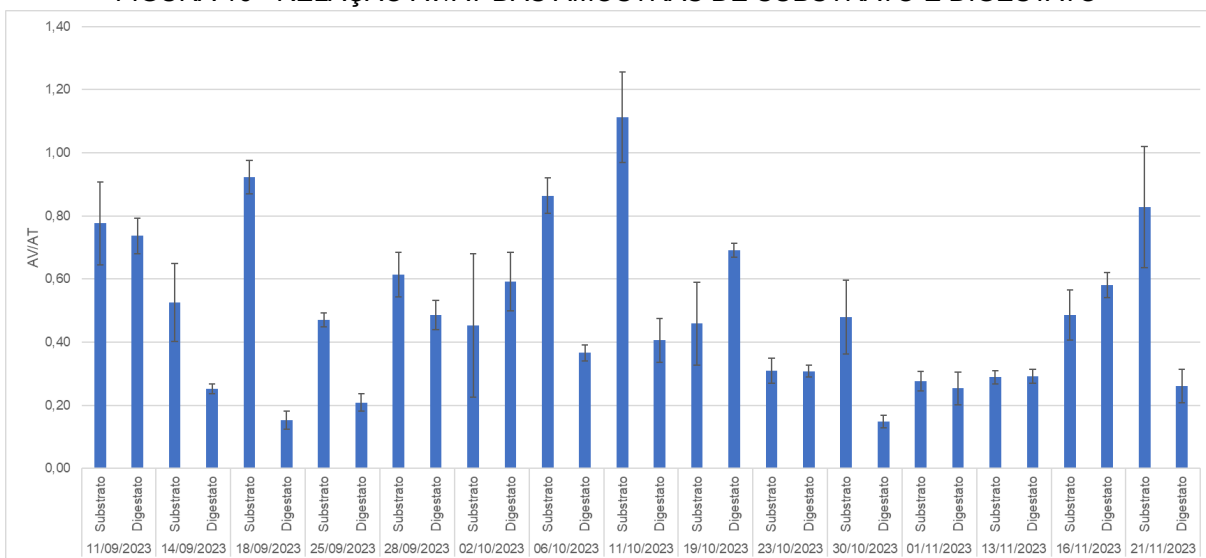
FIGURA 15 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE AP, AI, AT E AV DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO



FONTE: O autor (2024)

A partir dos resultados dispostos na Figura 15, foi possível calcular que as amostras de substrato apresentaram AP, AI e AT médias de $1902,6 \pm 18,4 \text{ mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$, $688,9 \pm 11,5 \text{ mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$ e $1955,5 \pm 11,8 \text{ mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$. A AV média foi de $1325,2 \pm 18,9 \text{ mg}_{\text{HAc}}/\text{L}$. As amostras de digestato apresentaram AP, AI e AT médias de $1887,5 \pm 8,0 \text{ mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$, $546,6 \pm 10,5 \text{ mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$ e $2835,8 \pm 5,4 \text{ mg}_{\text{CaCO}_3}/\text{L}$. A AV média foi de $723,1 \pm 14,4 \text{ mg}_{\text{HAc}}/\text{L}$. As relações AV/AT se encontram na Figura 16 e os valores dessas relações estão disponíveis no Apêndice C.

FIGURA 16 - RELAÇÃO AV/AT DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO

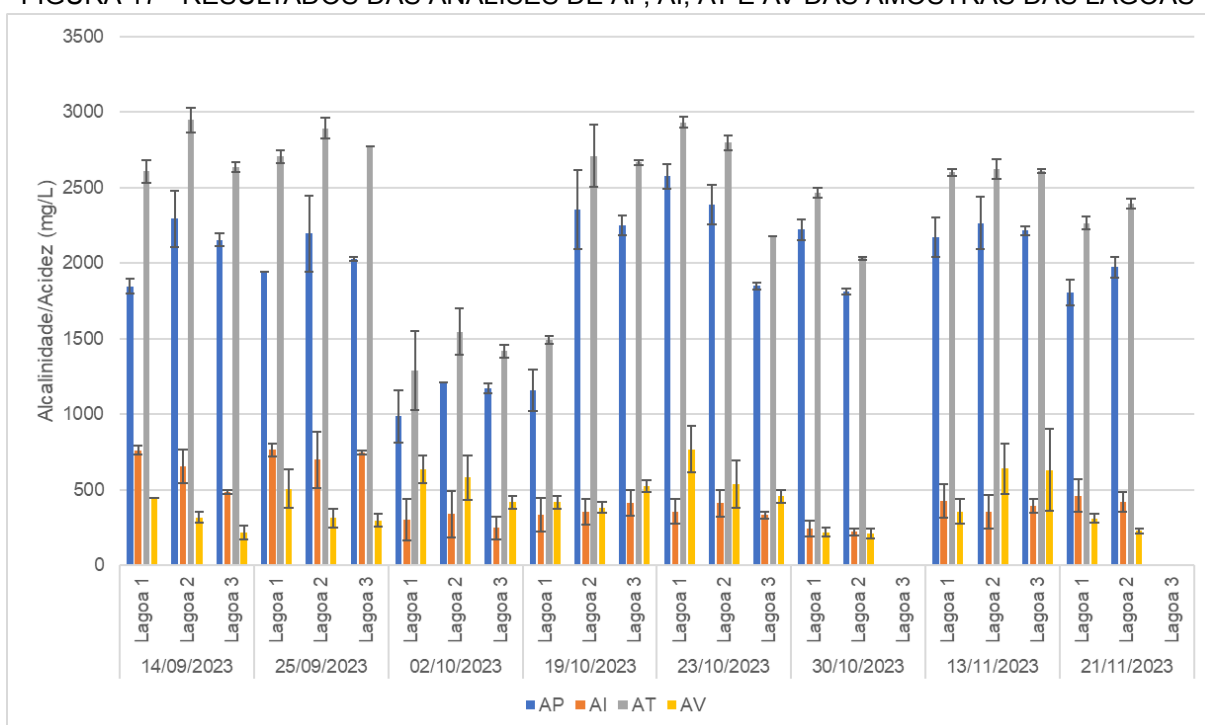


FONTE: O autor (2024)

A partir dos resultados dispostos na Figura 16, foi possível calcular que a relação AV/AT média das amostras do substrato foi de $0,59 \pm 0,10$, enquanto que das amostras do digestato foi de $0,38 \pm 0,04$.

A Figura 17 mostra os resultados das análises de acidez e alcalinidade para as amostras das lagoas de decantação e os valores desses resultados estão disponíveis no Apêndice D.

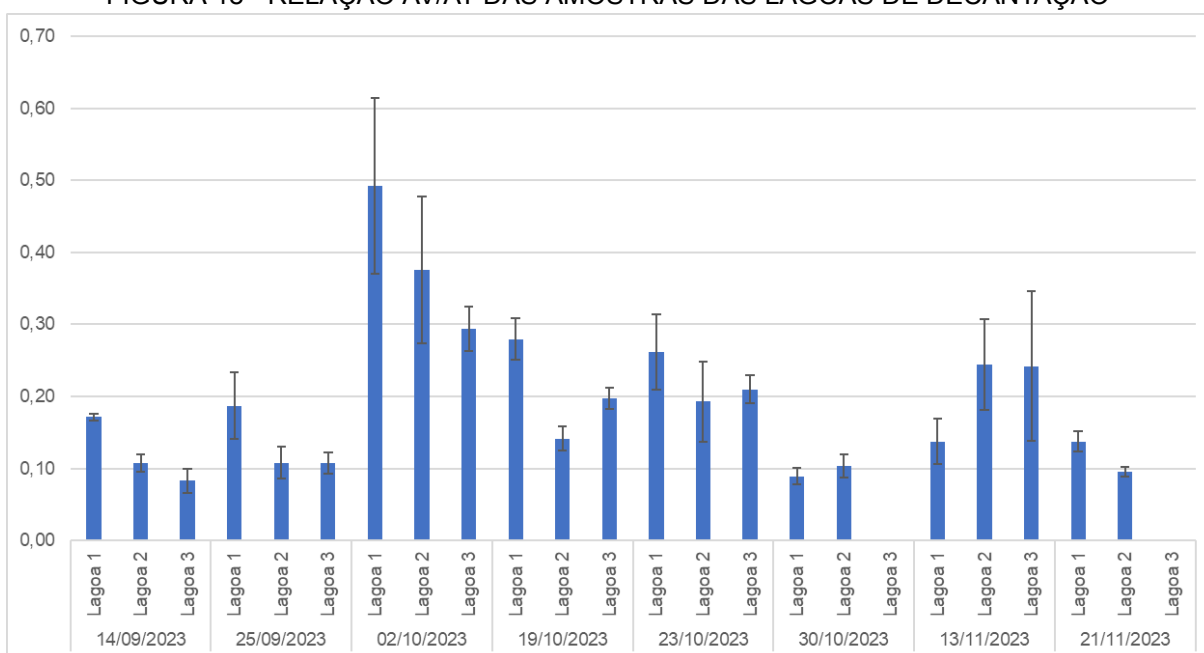
FIGURA 17 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE AP, AI, AT E AV DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS



FONTE: O autor (2024)

A partir dos resultados dispostos na Figura 17, foi possível calcular que as amostras da Lagoa 1 apresentaram AP, AI e AT médias de $1975,6 \pm 31,0$ mg_{CaCO₃}/L, $627,1 \pm 19,5$ mg_{CaCO₃}/L e $2350,4 \pm 12,2$ mg_{CaCO₃}/L. A AV média foi de $315,6 \pm 17,5$ mg_{HAc}/L. As amostras da Lagoa 2 apresentaram AP, AI e AT médias de $1855,4 \pm 19,7$ mg_{CaCO₃}/L, $285,1 \pm 20,5$ mg_{CaCO₃}/L e $2165,8 \pm 10,7$ mg_{CaCO₃}/L. A AV média foi de $263,9 \pm 11,9$ mg_{HAc}/L. As amostras da Lagoa 3 apresentaram AP, AI e AT médias de $1955,5 \pm 9,9$ mg_{CaCO₃}/L, $550,5 \pm 7,7$ mg_{CaCO₃}/L e $2565,3 \pm 10,3$ mg_{CaCO₃}/L. A AV média foi de $393,5 \pm 18,7$ mg_{HAc}/L. As relações AV/AT se encontram na Figura 18 e os valores dessas relações estão disponíveis no Apêndice D.

FIGURA 18 - RELAÇÃO AV/AT DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO



FONTE: O autor (2024)

A partir dos resultados dispostos na Figura 18, foi possível calcular que a relação AV/AT média das amostras da Lagoa 1 foi de $0,22 \pm 0,04$. A relação AV/AT média das amostras da Lagoa 2 foi de $0,17 \pm 0,04$. A relação AV/AT média das amostras da Lagoa 1 foi de $0,19 \pm 0,04$.

Stival, Errera e Aisse (2017) afirmam que a relação AV/AT indica uma digestão eficiente, quando a taxa de ácidos voláteis permanecer baixa e a alcalinidade alta. O aumento dessa relação pode indicar o aumento de CO_2 nos gases, o que acaba por diminuir o pH do meio e pode ocasionar a acidificação do biodigestor, que por sua vez pode vir a cessar o processo. Segundo Heydt *et al.* (2020), valores altos da relação AV/AT estão atrelados a grande degradabilidade, mas no decorrer do processo da digestão anaeróbia, este valor tende a diminuir apresentando valores finais mais baixos.

Não existe consenso sobre qual o valor ideal da relação AV/AT para a manutenção do biodigestor, apenas que ela deve ser mantida baixa, exigindo vez ou outra medidas corretivas. Para Magalhães (1986), para a maioria dos casos a relação deve ser mantida menor que 0,1 para ser considerada ótima. Para Hanna Instruments (2020), a relação deve ser mantida abaixo de 0,25. Luna *et al.* (2009) afirma que a relação AV/AT deve ser próxima a 0,5 para realização do tamponamento do meio.

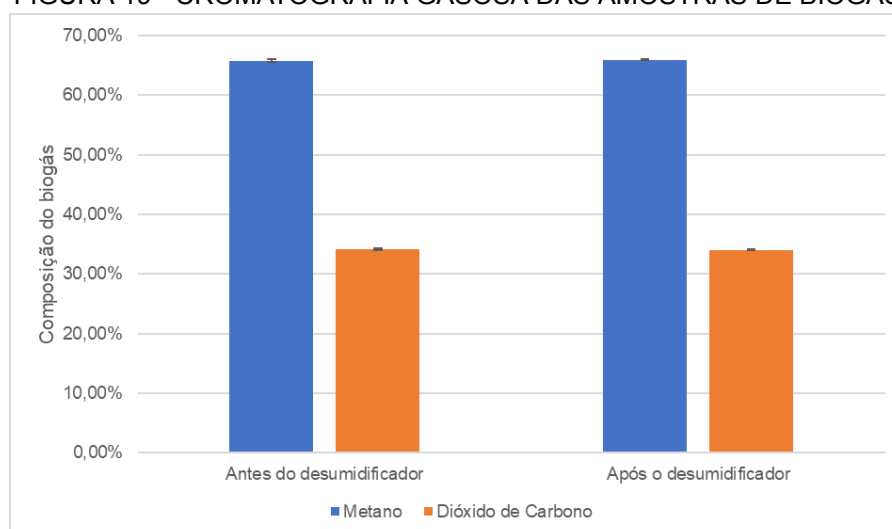
Leite, Vich e Callado (2021) ao prepararem dejetos suínos brutos para tratamento anaeróbio, realizaram uma separação da matéria em dois tipos através do uso de uma coluna de decantação: líquido de baixa concentração (LBC) e líquido de alta concentração (LAC). Segundo os autores, os valores de AP, AI e AT para dejetos suínos brutos equivalem respectivamente a 495 ± 89 mg/L, 438 ± 167 mg/L e 933 ± 221 mg/L. Os mesmos valores para LBC são 1048 ± 396 mg/L, 769 ± 442 mg/L e 1817 ± 835 mg/L respectivamente. Para LAC, 1237 ± 181 mg/L, 1098 ± 137 mg/L e 2326 ± 299 mg/L respectivamente. Após o tratamento em reator tipo UASB, os valores de AP, AI e AT do efluente foram 1552 ± 456 mg/L, 176 ± 155 mg/L e 1729 ± 327 mg/L respectivamente.

Bacca (2023) caracterizou o digestato do mesmo biodigestor modelo lagoa coberta tratado neste trabalho, caracterizando-o com as seguintes características: AP - 2400 ± 432 mg/kg; AI - 867 ± 94 mg/kg; AT - 3267 ± 499 mg/kg; AV - 520 ± 29 g/kg; AV/AT - $0,16 \pm 0,03$.

4.3 CROMATOGRAFIA GASOSA

Os resultados da composição percentual de metano e dióxido de carbono obtidos pela análise de cromatografia gasosa das amostras de biogás produzido na propriedade suinícola antes e após o processo de retirada de umidade foram apresentados na Figura 19.

FIGURA 19 - CROMATOGRAFIA GASOSA DAS AMOSTRAS DE BIOGÁS



FONTE: O autor (2024)

Os resultados de cromatografia gasosa mostraram que não houve mudança considerável na composição do biogás em decorrência do processo de retirada de umidade. Conforme visto na Figura 19, antes do processo o biogás apresentava composição de $(65,83 \pm 0,20)\%$ de metano e $(34,17 \pm 0,20)\%$ de dióxido de carbono. Após o processo, o metano e o dióxido de carbono representou, respectivamente, $(65,98 \pm 0,07)\%$ e $(34,02 \pm 0,07)\%$ da composição do biogás.

Segundo Schnürer e Jarvis (2009), a composição do substrato está diretamente relacionada à composição do biogás. Segundo Lins, Mito e Fernandes (2015), a composição média do biogás produzido a partir da biomassa residual de suinocultura de terminação é de 62,0% de metano, 37,0% de CO₂ e 2.782,3 ppm de H₂S, enquanto que a composição média do biogás produzido a partir da biomassa residual de suinocultura para produção de leitões é de 68,4% de metano, 30,6% de CO₂ e 1.309,1 ppm de H₂S. Barrera (1993) afirma que a composição típica do biogás inclui entre 50 a 80% de metano e 20 a 40% de CO₂.

5 CONCLUSÃO

A propriedade suinícola de onde as amostras foram retiradas é considerada um modelo no quesito de implantação de medidas de tratamento de passivos ambientais na região em que se localiza. Desde que foi implantado, há mais de 20 anos, o biodigestor modelo lagoa coberta da propriedade tem tido como principal objetivo a produção de biogás para geração de calor para o conforto de leitões, sendo que o excedente produzido é utilizado para abater valores muito altos da fatura de energia elétrica.

Os resultados encontrados para remoção de ST, STF e STV médios do biodigestor foram respectivamente de $(28,76 \pm 3,06)\%$, $(20,54 \pm 5,48)\%$ e $(29,43 \pm 6,54)\%$. A partir disso, pode-se conferir que a taxa de remoção de sólidos do biodigestor está abaixo dos valores médios presentes na literatura. Isso pode indicar possíveis problemas com o biodigestor, como assoreamento e digestão incompleta. Sabe-se que na propriedade, é feito periodicamente através de maquinário o remeximento do lodo assentado no fundo do biodigestor, mas, devido aos valores médios calculados de remoção de sólidos, talvez seja necessário algum processo para desassorear o fundo.

O assoreamento é relativamente comum em biodigestores com muito tempo de uso. Ele interfere na eficiência da biodigestão pois, grande parte do volume que poderia ocupar matéria orgânica que poderia ser digerida, acaba sendo ocupada por matéria densa que não pôde ser (ou já foi) digerida.

Outro fator que contribui para a hipótese do assoreamento, foi o pH. Como dito anteriormente, o pH tende a se elevar devido ao consumo de ácidos voláteis durante a biodigestão anaeróbia. No caso das amostras, o pH do digestato encontrava-se mais ácido do que o pH do substrato, voltando a aumentar nas lagoas de decantação. O fato da biodigestão anaeróbia não ser realizada na sua totalidade dentro do biodigestor, explicaria a presença de bolhas nas lagoas de decantação comentadas previamente.

A relação AV/AT média de todas as amostras líquidas ficou próxima ou abaixo de 0,5. Segundo a literatura, não seriam necessárias nenhuma medida corretiva de acidez ou alcalinidade. A análise de cromatografia gasosa mostrou que a composição do biogás produzido na propriedade suinícola está de acordo com as

fontes na literatura. Verificou-se que não houve mudanças significativas na composição do biogás após passar pelo processo de remoção de umidade.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nos estágios iniciais deste trabalho, definiu-se que um dos parâmetros calculados a partir dos dados encontrados seria o potencial metanogênico perdido da propriedade em função da taxa de sólidos não digeridos que passavam para as lagoas. Isso provou-se desafiador pelo fato de que não há controle de vazão em nenhuma parte do processo.

Portanto, recomenda-se levar em consideração para trabalhos futuros outros dados, como a taxa de sólidos suspensos totais (SST), que é mais significativa quando se trata de lagoas de decantação, além de taxas de fósforo, nitrogênio, DQO e DBO.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. No Paraná, suinocultura fecha 2023 com equilíbrio e perspectivas positivas. **Ligados Interligados**, Paraíso, 5 jan. 2024. Disponível em: <https://ligadoseintegrados.canalrural.com.br/suinos/no-parana-suinocultura-fecha-2023-com-equilibrio-e-perspectivas-positivas/#:~:text=O%20Paran%C3%A1%2C%20que%20ocupa%20o,de%202023%2C%20um%20aumento%20de>. Acesso em: 20 mar. 2024.
- AMARAL, C. M. C. do. *et al.* Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1897–1902, nov. 2004. <https://doi.org/10.1590/S0103-84782004000600035>.
- ANDRADE NETO, C. O. Relatório Final. **Pesquisa Referente à Experiência Brasileira a Sistemas de Baixo Custo para Tratamento de Águas Residuárias**, Vol. 1. Brasília: CEF, 1994.
- ANDREAZZI, M. A.; SANTOS, J. M. G.; LAZARETTI, R. M. J. Destinação dos resíduos da suinocultura em granjas das regiões noroeste e sudoeste do Paraná. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 19, n. 3, p. 744-751, dez. 2015.
- ANGELIDAKI, I.; *et al.* Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. **Biotechnology Advances**, v. 36, n. 2, p. 452-466, 2018.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington DC: American Public Health Association, 24 ed., 2023.
- ARAGÃO, A.; CONTINI, E. O Agro no Brasil e no Mundo: um panorama do período de 2000 a 2021. **Embrapa**, Brasília, v. 1, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/camaras-setoriais-tematicas/documentos/camaras-tematicas/insumos-agropecuarios/2022/114aro/apres-panorama-no-perio-do-de-2000-a-2021.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2024.
- ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017.
- AZEVEDO, A. F. de. **Análise de alternativas de cobrança e gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos: estudo de caso no Lago Norte, DF**. 2021. 119 f., il. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade de Brasília, Brasília, 2021.
- BACCA, L. A. M. **Codigestão anaeróbia de resíduos bovinos e suínos sob diferentes condições de temperatura e agitação**. 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Energia) - Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2023.

BACCA, L. A. M.; TELEKEN, J. G.. Avaliação da produção de biogás através de biodigestão anaeróbia em diferentes razões inóculo/substrato de bioplástico comercial poli (B-hidroxibutirato) (PHB). **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 9, p. 288-310, fev. 2020.

BARRERA, P. **Biodigestores**: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. São Paulo: Ícone, 1993. 11 p.

BARROS, R. M. Energia de Biogás da Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos e de Aterros Sanitários. **Rev. O Futuro da Energia**, Belo Horizonte, v. 1, n. 1, p. 1-9, 2016. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/315445774_Energia_de_Biogas_da_Digestao_Anaerobia_de_Residuos_Solidos_Organicos_e_de_Aterros_Sanitarios#fullTextFileContent. Acesso em: 19 abr. 2024.

CAMPOS, J. R. *et al.* **Rede cooperativa de pesquisas**: tratamento de esgotos sanitários por processo de anaeróbio e disposição controlada no solo. Rio de Janeiro: Rima Artes e Textos, 1999. 464 p.

CATAPAN, A.; CATAPAN, D. C.; CATAPAN, E. A. Formas alternativas de geração de energia elétrica a partir do biogás: uma abordagem do custo de geração da energia. In: **Anais do Congresso Brasileiro de Custos - ABC**. 2010.

CENTENARO, S.; FURLAN, G. M.; SOUZA-SOARES, L. A. de. Gordura de frango: alternativas tecnológicas e nutricionais. **Ciências Agrárias**, v. 29, n. 3, p. 619-629, jul./set. 2008.

CHERNICHARO, C. A. de L. **Anaerobic Reactors**. Londres: IWA Publishing, 2008.

CHERNICHARO, C. A. de L. *et al.* Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios. **Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais**, v. 5, p. 379, 2007.

CIOABLA, A. E. *et al.* Comparative study on factors affecting anaerobic digestion of agricultural vegetal residues. **Biotechnol Biofuels**, [s.l.], v. 5, n. 39, jun. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/1754-6834-5-39>. Acesso em: 20 abr. 2024.

COELHO, S. T. *et al.* Geração de energia elétrica a partir do biogás proveniente do tratamento de esgoto. **Proceedings of the 6. Encontro de Energia no Meio Rural**, 2006.

COMERIO, A. *et al.* Viabilidade de geração de energia elétrica a partir de dejetos suínos considerando redução do despacho de usinas termelétricas. **Revista Ifes Ciência**, n. 3, p. 102-119. <https://doi.org/10.36524/ric.v3i2.341>.

COSTA, R. H. R.; MEDRI, W.; PERDOMO, C. C. Otimização do sistema de tratamento: decantador de palhetas e lagoas anaeróbias, facultativa e de aguapés de dejetos suínos. In: WORKSHOP SOBRE DEJETOS SUÍNOS, 1997, Concórdia, SC. **Anais...** [...]. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1997, p. 26-34

COSTA, R. H. R.; MEDRI, W. Modelling and Optimisation of Stabilisation Ponds System for the Treatment of Swine Wastes: organic Matter Evaluation. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 45, n. 3, p. 385-392, 2002.

CREMONEZ, P. A. *et al.* Biodigestão anaeróbia no tratamento de resíduos lignocelulósicos. **Revista brasileira de energias renováveis**, v. 2, p. 21-35, 2013.

CREMONEZ, P. A. **Digestão anaeróbia de um polímero à base de fécula de mandioca**. 2019. 122 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2019.

DESYE, B., *et al.* Evaluation of Waste Stabilization Pond Efficiency and Its Effluent Water Quality: a Case Study of Kito Furdisa Campus, Jimma University, Southwest Ethiopia. **The Scientific World Journal**, v. 2022, n. 1, mai., 2022.
<https://doi.org/10.1155/2022/2800034>

DUARTE, T. O.; MÉDICI, M. S.; LEÃO, M. F.. Produção científica sobre biodigestores como ações práticas de Educação Ambiental. In: **FÓRUM AMBIENTAL ALTA PAULISTA**, 16., 2020, São Paulo. Resumos... São Paulo: Revista Científica ANAP Brasil, 2020. p. 74-88.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Suinocultura de baixa emissão de carbono**: tecnologias de produção mais limpa e aproveitamento econômico dos resíduos da produção de suínos. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 2016.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Suínos e Aves**. Estatísticas. Brasília, 2023. Disponível em:
<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/>. Acesso em: 3 abr. 2024.

FILHO, C. S. **Apenas 1% do lixo orgânico é reaproveitado no Brasil**. CBN, 5 fev. 2019. Entrevista concedida a Lucas Soares e Bianca Kirklewski. Disponível em:
<https://cbn.globoradio.globo.com/media/audio/243607/apenas-1-do-lixo-organico-e-reaproveitado-no-brasi.htm?fbclid=IwAR0jzdKzYg-0JkUAuAvPRJKfT7VERcyk9fyDpdwZWUNCFEgwWhAKPIb6Z2M>. Acesso em: 10 abr. 2024.

GONÇALVES, M. N. **Os efeitos da temperatura na produção de biogás em biodigestores**. 2018. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.

HAMILTON, D.; ZHANG, H. **Solids Content of Wastewater and Manure**. Oklahoma State University. Stillwater, 2016. Disponível em:
<https://extension.okstate.edu/fact-sheets/solids-content-of-wastewater-and-manure.html>. Acesso em: 01 jun. 2024.

HANNA INSTRUMENTS. **Alcalinidade na Água**. São Paulo, jan. 2020. Disponível em: <https://hannainst.com.br/alcalinidade-na-agua/>. Acesso em: 01 jun. 2024.

HENN, A.; *et al.* Planejamento ambiental e adequação à legislação ambiental de uma pequena propriedade suinícola com relação à geração, tratamento e destino

dos dejetos suínos em Braço do Norte/SC. In: XXIX Congresso Interamericano de Ingenieria Sanitaria y Ambiental, San Juan, 2004.

HEYDT, A. R.; *et al.* Avaliação da produção de biogás por digestão anaeróbia de biopolímero de amido de batata. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, n. esp., p. 311-326, Florianópolis, fev. 2020.

IERVOLINO, L. F. Lagoas de estabilização. **Portal Tratamento de Água**, 2019. Disponível em: <https://tratamentodeagua.com.br/artigo/lagoas-estabilizacao/>. Acesso em: 11 jun. 2024.

JAIN, S. *et al.* A comprehensive review on operating parameters and different pretreatment methodologies for anaerobic digestion of municipal solid waste. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 52, p. 142-154, dez. 2015.

KUNZ, A. *et al.* Biodigestor para o tratamento de dejetos de suínos: influência da temperatura ambiente. **Comunicado Técnico Embrapa**, p. 5, dez. 2005.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, L. de; PICCININ, L. S. Manual de análise do biogás. **Brasília, DF: Alfakit e Embrapa Suínos e Aves**, 2007.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C.. **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: 10 abr. 2024.

LEITE, P. F. A. F.; VICH, D. V.; CALLADO, N. H. Tratamento de dejetos de suinocultura em reator anaeróbio com pós-tratamento aeróbio/anóxico. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 26, n. 3, p. 567-576, jun. 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220200009>

LEITE, W. R. M. **Digestão anaeróbia em temperaturas mesofílica e termofílica de lodo de ete usando reatores de estágio único e dois estágios**. 2015. 193 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

LINCHO, J.; *et al.* Continuous Heterogeneous Fenton for Swine Wastewater Treatment: Converting an Industry Waste into a Wastewater Treatment Material. **Water**, [s.l.], v. 16, n. 5, p. 781, mar., 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w16050781>. Acesso em: 25 mai. 2024.

LINS, L. P.; MITO, J. Y. L.; FERNANDES, D. M. Composição média do biogás de diferentes tipos de biomassa. In: IV Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

LUIZ, C. D. C. **Biodigestão anaeróbia dos resíduos orgânicos do restaurante universitário da UNIPAMPA - campus Bagé**. 2019. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal do Pampa, Bagé, 2019.

LUNA, M.; *et al.* Tratamento anaeróbio de resíduos orgânicos com baixa concentração de sólidos. **Engenharia Agrícola**, v. 29, n. 1, p. 113-121, 2009.

MAGALHÃES, A. P. T. **Biogás**: um projeto de saneamento urbano. Editora Nobel, 1986.

MEIER, T. R. W.. **Avaliação no teor de hidrogênio no biogás produzido a partir de manipueira com adição de glicerol residual por biodigestão anaeróbica**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Instrumental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Toledo, 2019.

NABACK, S. C. *et al.* Identificação e perfil de sensibilidade a antimicrobianos de bactérias isoladas na biodigestão anaeróbia de dejetos suínos e bovinos. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 8, n. 7, p. 49091-49108, jul., 2022. Disponível em:

https://www.researchgate.net/publication/361893274_Identification_and_profile_of_antimicrobial_sensitivity_of_bacteria_isolated_in_anaerobic_biodigestion_of_swine_and_bovine_waste. Acesso em: 10 abr. 2024.

NASCIMENTO, H. **A Produção e o Consumo de Carne Suína no Mundo**. 2020. Não paginado. Disponível em:

<https://www2.zoetis.com.br/imprensa/a-producao-e-o-consumo-de-carne-suina-no-mundo#:~:text=O%20Brasil%20ocupa%20a%20quarta,a%20maior%20produtora%20e%20exportadora>. Acesso em: 23 mar. 2024.

NIELSEN, H. B.; ANGELIDAKI, I. Codigestion of manure and organic waste at centralized biogas plants: process imbalances and limitations. **Water Science & Technology**, [s.l.], v. 58, n. 7, p. 1521-1528, 2008. Disponível em:

https://orprints.org/id/eprint/14404/1/HENRIK_Nielsen_and_Angelidaki-full_paper%5B1%5D.pdf. Acesso em: 10 abr. 2024.

OBREGON, L.; *et al.* BIODIGESTORES ANAERÓBIOS: AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA. In: **SALÃO DO CONHECIMENTO**, 2021, jul. 2021. v. 7, [n.p.]. Disponível em:

<https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/20735>. Acesso em 01 jun. 2024.

OLIVEIRA, D. E. P. de. **Estudo de viabilidade da produção de energia elétrica a partir do biogás gerado pela biodigestão de resíduos sólidos orgânicos de uma central de abastecimento paulista**. 2019. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Cidades Inteligentes e Sustentáveis, Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2019.

OLIVEIRA, J. C. **Utilização de um biodigestor para tratamento de esgoto e geração de energia**: um estudo de caso na comunidade de Portelinha, RJ./ Jéssica Clarisse de Oliveira. Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2018. Disponível em: <<http://repositorio.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10025008.pdf>> Acesso em: 24 jun. 2024.

OLIVEIRA, P. A. V. **Manual de manejo e utilização dos dejetos suínos**. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1993. 188p.

OLIVEIRA, P. A. V.; NUNES, M. L. A. **Sustentabilidade ambiental da suinocultura**. Workshop sobre Tecnologias para a Remoção de Nutrientes de Dejetos de Origem Animal. Embrapa Suínos e Aves - Santa Catarina. 2005. Disponível em: http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/anais0205_oliveira.pdf. Acesso em: 12 mai. 2024.

OLIVEIRA, R. A.; *et al.* Influência da aplicação de águas residuárias de suinocultura na capacidade de infiltração de um solo Podzólico Vermelho-Amarelo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 263-267, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662000000200022>. Acesso em 3 jun. 2024.

PASQUALINI, A. A. Aplicação dos biodigestores na pecuária sustentável. **Revista Faculdades do Saber**, v. 5, n. 9, 2020.

PENTEADO, E. D.; *et al.* 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: 11 abr. 2024.

PEREZ, A. B. A.; RODRIGUES, C. Avaliação do efeito da salinidade na cinética de desoxigenação no ensaio da DBO. **Revista de Ciências Ambientais**, v. 13, n. 1, p. 33-41, 2019.

RIZZONI, L. B. *et al.* Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, v. 9, n. 18, p. 1-20, 2012.

ROBAZZA, W. S.; TELEKEN, J. T.; GOMES, G. A. Modelagem Matemática do Crescimento de Microrganismos em Alimentos. **TEMA - Tendências em Matemática Aplicada e Computacional**. 11. 10.5540/tema.2010.011.01.0101.

ROMANO, R. T.; ZHANG, R. Anaerobic digestion of onion residuals using a mesophilic Anaerobic Phased Solids Digester. **Biomass and Bioenergy**, v. 35, n. 10, p. 4174-4179. 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2011.06.036>. Acesso em: 28 mar. 2024.

RUIZ, U. dos S. **Manejo de resíduos de suinocultura**. São Paulo: Departamento de Zootecnia da Universidade de São Paulo, 2017. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/5811595/mod_resource/content/2/Manejo_residuos_suinos.pdf. Acesso em: 20 mar. 2024.

SALOMON, K. R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade**. 2007. 247 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, Itajubá, 2007.

SCHNÜRER, A.; JARVIS, A. Microbiological handbook for biogas plants. **Swedish Gas Centre Report**. 2009.

SECRETARIA DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO DO PARANÁ. **Com números recordes, Paraná lidera aumento da produção de frangos, suínos e ovos em 2023**. 2024. Não paginado. Disponível em: <https://www.agricultura.pr.gov.br/Noticia/Com-numeros-recordes-Parana-lidera-aumento-da-producao-de-frangos-suinos-e-ovos-em-2023#:~:text=O%20Paran%C3%A1%20produziu%20660%2C63,tr%C3%AAs%20cadeias%20de%20prote%C3%ADna%20animal>. Acesso em: 16 abr. 2024.

SILVA, F. L. **Lagoas de estabilização de dejetos suínos**: avaliação da eficiência de um sistema empregando parâmetros físico-químicos e biológicos. 2003. 54 f. Dissertação (Mestrado em Medicina Veterinária) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

SILVA, F. P.; *et al.* Parâmetros físico-químicos na operação de biodigestores para suinocultura. **Revista Tecnológica**, Edição Especial 2014, p. 33-41, Maringá, 2015. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/download/25893/14817/>. Acesso em: 01 jun. 2024.

SILVA, P. R. S.; *et al.* Integrating a kinetic microbial model with a heat transfer model to predict *Byssochlamys fulva* growth in refrigerated papaya pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 118, n. 3, p. 279-288, out. 2013.

SILVA, S. A. **On The Treatment of Domestic Sewage in Waste Stabilization Ponds in Northeast Brazil**. 1982. 203 f. Tese (Doutorado) - University of Dundee, Dundee, 1982.

STIVAL, L.; ERRERA, M.; AISSE, M. Avaliação do desempenho de uma unidade de biodigestão em escala real tratando dejetos da suinocultura. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 5, p. 983-994, 2017.

TORRES, A.; PEDROSA, J. F.; MOURA, J. P. Fundamentos de implantação de biodigestores em propriedades rurais. **Educação Ambiental em Ação**, n. 40, ano XI, jun.-ago. 2012.

VIVAN, M.; *et al.* Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 320-325, mar. 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000300013>. Acesso em 01 jun. 2024.

VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. L. **Biological Wastewater Treatment in Warm Climate Regions**. vol. 1. Londres: IWA Publishing, 2005.

WALSH, J. L.; *et al.* Utilization of biogas. **Biomass**, v. 20, p. 277-289. 1989.

WHO (WORLD HEALTH ORGANIZATION). **Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture**. Geneva: World Health Organization. (Technical Reports Series No 778), 1989, 72 p.

ZHAO, F. *et al.* Simultaneous inhibition of sulfate-reducing bacteria, removal of H₂S and production of rhamnolipid by recombinant *Pseudomonas stutzeri* Rhl: Applications for microbial enhanced oil recovery. **Bioresource Technology**, v. 207, p. 24–30, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.01.126>. Acesso em 01 jun. 2024.

APÊNDICE A - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO

TABELA 1 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO

Data	Análise de Sólidos	Substrato (mg/L)	Digestato (mg/L)	Remoção (%)
11/09	ST	5013,3 ± 290,4	3244,4 ± 302,5	35,28 ± 2,95
	STF	2113,3 ± 215,7	1546,7 ± 120,2	26,81 ± 3,13
	STV	2900,0 ± 213,6	1697,8 ± 386,3	41,46 ± 6,31
14/09	ST	9264,4 ± 715,7	5315,6 ± 1104,4	42,62 ± 6,05
	STF	3766,7 ± 81,1	2013,3 ± 325,4	46,55 ± 4,14
	STV	5497,8 ± 639,1	3302,2 ± 779,3	39,94 ± 7,32
18/09	ST	16682,2 ± 673,2	3610,0 ± 4,7	78,36 ± 3,16
	STF	4157,8 ± 1015,1	1936,7 ± 4,7	53,42 ± 13,04
	STV	12524,4 ± 1125,3	1673,3 ± 9,4	86,64 ± 7,78
25/09	ST	5515,6 ± 411,6	3237,8 ± 103,8	41,30 ± 3,18
	STF	2153,3 ± 750,6	1428,9 ± 36,7	33,64 ± 11,74
	STV	3362,2 ± 415,1	1808,9 ± 110,0	46,20 ± 5,90
28/09	ST	6326,7 ± 1955,9	6280,0 ± 693,3	0,74 ± 0,24
	STF	2133,3 ± 339,1	2357,8 ± 181,4	-10,52 ± 1,90
	STV	4193,3 ±	3922,2 ±	6,47 ± 2,62

		1617,5	512,1	
02/10	ST	3917,8 ± 204,4	3922,2 ± 322,7	-0,11 ± 0,01
	STF	1655,6 ± 94,6	1628,9 ± 130,9	1,61 ± 0,16
	STV	2262,2 ± 150,0	2293,3 ± 200,3	-1,37 ± 0,15
06/10	ST	5833,3 ± 47,1	4616,7 ± 61,3	20,86 ± 0,28
	STF	1766,7 ± 0,0	1766,7 ± 18,9	0,00 ± 0,00
	STV	4066,7 ± 47,1	2850,0 ± 80,1	29,92 ± 0,68
11/10	ST	20384,4 ± 1595,8	3988,9 ± 175,9	80,43 ± 6,33
	STF	5895,6 ± 21,4	1548,9 ± 36,7	73,73 ± 0,53
	STV	14488,9 ± 1604,1	2440,0 ± 139,2	83,16 ± 9,24
19/10	ST	3933,3 ± 120,6	6115,6 ± 424,1	-55,48 ± 6,22
	STF	1837,8 ± 141,5	2375,6 ± 174,4	-29,26 ± 3,58
	STV	2095,6 ± 244,5	3740,0 ± 539,2	-78,47 ± 22,17
23/10	ST	6124,4 ± 200,0	3880,0 ± 152,8	36,65 ± 1,51
	STF	2608,9 ± 108,6	3515,6 ± 150,0	-34,75 ± 2,47
	STV	3515,6 ± 150,0	2251,1 ± 87,0	35,97 ± 1,77
30/10	ST	39226,7 ± 2691,8	3313,3 ± 69,6	91,55 ± 6,28
	STF	13842,2 ± 4819,6	1508,9 ± 16,8	89,10 ± 31,02
	STV	25384,4 ± 3699,5	1804,4 ± 71,3	92,89 ± 13,54
01/11	ST	4940,0 ± 9,4	3246,7 ± 69,6	34,28 ± 0,49

	STF	2083,3 ± 99,0	1453,3 ± 98,2	30,24 ± 2,02
	STV	2856,7 ± 89,6	1793,3 ± 124,9	37,22 ± 2,00
13/11	ST	3288,9 ± 68,1	2651,1 ± 79,0	19,39 ± 0,61
	STF	1557,8 ± 394,5	1477,8 ± 67,1	5,14 ± 1,32
	STV	1731,1 ± 327,4	1173,3 ± 29,1	32,22 ± 6,12
16/11	ST	3080,0 ± 66,0	4608,9 ± 336,0	-49,64 ± 5,52
	STF	1350,0 ± 61,3	1651,1 ± 369,4	-22,30 ± 6,19
	STV	1730,0 ± 4,7	2957,8 ± 194,4	-70,97 ± 7,98
21/11	ST	9100,0 ± 411,0	4075,6 ± 273,6	55,21 ± 3,00
	STF	2946,7 ± 29,1	1628,9 ± 50,9	44,72 ± 0,89
	STV	6153,3 ± 396,2	2446,7 ± 236,7	60,24 ± 4,52

FONTE: O Autor (2024)

APÊNDICE B - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO

TABELA 2 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE SÓLIDOS DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO

Data	Análise de Sólidos	Lagoa 1		Lagoa 2		Lagoa 3	
		Taxa de Sólidos (mg/L)	Remoção (%)	Taxa de Sólidos (mg/L)	Remoção (%)	Taxa de Sólidos (mg/L)	Remoção (%)
14/09	ST	3808,9 ± 40,7	28,34 ± 5,89	2675,6 ± 136,7	29,75 ± 1,11	2237,8 ± 84,4	16,36 ± 0,98
	STF	1460,0 ± 48,1	27,48 ± 4,49	1446,7 ± 93,3	0,91 ± 0,07	1331,1 ± 71,9	7,99 ± 0,65
	STV	2348,9 ± 60,1	28,87 ± 6,83	1228,9 ± 43,4	47,68 ± 1,50	906,7 ± 151,4	26,22 ± 3,36
25/09	ST	3888,9 ± 121,0	-20,11 ± 0,99	2813,3 ± 24,0	27,66 ± 0,88	2522,2 ± 80,6	10,35 ± 0,31
	STF	2000,0 ± 320,9	-39,97 ± 9,03	1631,1 ± 30,8	18,45 ± 2,97	1604,4 ± 43,4	1,63 ± 0,05
	STV	1888,9 ± 291,5	-4,42 ± 0,76	1182,2 ± 54,3	37,41 ± 5,87	917,8 ± 81,5	22,37 ± 1,85
02/10	ST	8004,4 ± 1577,8	-104,08 ± 42,74	2744,4 ± 125,8	65,71 ± 12,99	2151,1 ± 16,8	21,62 ± 1,00
	STF	3406,7 ± 946,9	-109,14 ± 64,05	1506,7 ± 41,6	55,77 ± 15,52	1237,8 ± 107,8	17,85 ± 1,37
	STV	4597,8 ± 1127,7	-100,48 ± 50,19	1237,8 ± 107,8	73,08 ± 18,01	826,7 ± 30,6	33,21 ± 3,01
19/10	ST	2942,2 ± 101,0	51,89 ± 3,70	2502,2 ± 75,8	14,95 ± 0,64	2055,6 ± 50,9	17,85 ± 0,65
	STF	1546,7 ± 73,3	34,89 ± 2,78	1484,4 ± 81,5	4,03 ± 0,29	1362,2 ± 70,0	8,23 ± 0,60
	STV	1395,6 ± 43,4	62,69 ± 9,07	1017,8 ± 138,8	27,07 ± 2,82	693,3 ± 70,6	31,88 ± 4,88

23/10	ST	2531,1 ± 44,4	34,77 ± 1,43	2220,0 ± 66,0	12,29 ± 0,39	2324,4 ± 25,2	-4,70 ± 0,15
	STF	1493,3 ± 29,1	57,52 ± 2,50	1366,7 ± 0,0	8,48 ± 0,17	1313,3 ± 75,1	3,91 ± 0,21
	STV	1037,8 ± 15,4	53,90 ± 2,12	853,3 ± 66,0	17,78 ± 1,16	1011,1 ± 50,5	-18,49 ± 1,80
30/10	ST	2017,8 ± 19,2	39,10 ± 0,85	1704,4 ± 38,5	15,53 ± 0,33	-	-
	STF	1262,2 ± 37,9	16,35 ± 0,45	1173,3 ± 121,3	7,04 ± 0,71	-	-
	STV	755,6 ± 37,9	58,13 ± 2,60	531,1 ± 106,3	29,71 ± 4,44	-	-
13/11	ST	2562,2 ± 92,5	3,35 ± 0,15	2473,3 ± 105,8	3,47 ± 0,19	2220,0 ± 50,3	10,24 ± 0,49
	STF	1688,9 ± 68,4	-14,29 ± 0,93	1711,1 ± 87,0	-1,32 ± 0,09	1493,3 ± 70,2	12,73 ± 0,83
	STV	873,3 ± 52,1	25,57 ± 1,30	762,2 ± 30,1	12,72 ± 0,88	726,7 ± 64,3	4,66 ± 0,43
21/11	ST	2651,1 ± 50,0	34,95 ± 2,39	2142,2 ± 20,4	19,20 ± 0,39	-	-
	STF	1437,8 ± 10,2	11,73 ± 0,37	1400,0 ± 37,1	2,63 ± 0,07	-	-
	STV	1213,3 ± 48,1	50,41 ± 4,98	742,2 ± 31,5	38,83 ± 1,84	-	-

FONTE: O Autor (2024)

APÊNDICE C - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ACIDEZ E ALCALINIDADE DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO

TABELA 3 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ACIDEZ E ALCALINIDADE DAS AMOSTRAS DE SUBSTRATO E DIGESTATO

Data	Análise de Acidez e Alcalinidade	Substrato	Digestato
11/09	AP (mg _{CaCO3} /L)	3165,0 ± 127,3	2712,5 ± 31,8
	Al (mg _{CaCO3} /L))	1530,0 ± 28,3	657,5 ± 38,9
	AT (mg _{CaCO3} /L)	4695,0 ± 99,0	3370,0 ± 7,1
	AV (mg _{HAc} /L)	3646,0 ± 610,3	2485,2 ± 189,4
	AV/AT	0,78 ± 0,13	0,74 ± 0,06
14/09	AP (mg _{CaCO3} /L)	3883,1 ± 113,1	2079,8 ± 121,2
	Al (mg _{CaCO3} /L))	2211,7 ± 125,5	785,4 ± 136,4
	AT (mg _{CaCO3} /L)	6094,8 ± 71,4	2865,2 ± 18,8
	AV (mg _{HAc} /L)	3204,5 ± 756,7	724,2 ± 45,5
	AV/AT	0,53 ± 0,12	0,25 ± 0,02
18/09	AP (mg _{CaCO3} /L)	722,6 ± 142,7	2287,1 ± 21,8
	Al (mg _{CaCO3} /L))	1363,5 ± 60,6	898,5 ± 132,4
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2086,1 ± 107,2	3185,6 ± 135,9
	AV (mg _{HAc} /L)	1924,7 ± 45,5	486,1 ± 90,9
	AV/AT	0,92 ± 0,05	0,15 ± 0,03
25/09	AP (mg _{CaCO3} /L)	1244,1 ± 86,4	1558,3 ± 57,6
	Al (mg _{CaCO3} /L))	860,8 ± 71,4	722,6 ± 47,4
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2104,9 ± 21,8	2280,8 ± 82,2
	AV (mg _{HAc} /L)	992,1 ± 45,5	476,2 ± 59,5
	AV/AT	0,47 ± 0,02	0,21 ± 0,03

28/09	AP (mg _{CaCO3} /L)	1083,2 ± 82,2	1920,7 ± 217,8
	Al (mg _{CaCO3} /L))	467,1 ± 129,2	652,3 ± 116,5
	AT (mg _{CaCO3} /L)	1550,3 ± 54,5	2573,0 ± 103,2
	AV (mg _{HAc} /L)	952,4 ± 103,1	1250,0 ± 107,3
	AV/AT	0,61 ± 0,07	0,49 ± 0,05
02/10	AP (mg _{CaCO3} /L)	857,7 ± 102,5	769,1 ± 102,7
	Al (mg _{CaCO3} /L))	259,7 ± 25,6	338,2 ± 32,0
	AT (mg _{CaCO3} /L)	1117,4 ± 76,9	1107,3 ± 112,2
	AV (mg _{HAc} /L)	506,0 ± 252,5	654,8 ± 78,7
	AV/AT	0,45 ± 0,23	0,59 ± 0,09
06/10	AP (mg _{CaCO3} /L)	591,9 ± 43,6	1010,7 ± 89,0
	Al (mg _{CaCO3} /L))	406,7 ± 18,5	370,5 ± 80,4
	AT (mg _{CaCO3} /L)	998,6 ± 27,9	1381,1 ± 45,7
	AV (mg _{HAc} /L)	863,1 ± 51,6	506,0 ± 29,8
	AV/AT	0,86 ± 0,06	0,37 ± 0,02
11/10	AP (mg _{CaCO3} /L)	1570,4 ± 51,3	906,0 ± 20,9
	Al (mg _{CaCO3} /L))	1171,8 ± 307,5	265,8 ± 32,0
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2742,2 ± 256,3	1171,8 ± 52,7
	AV (mg _{HAc} /L)	3050,7 ± 273,6	476,2 ± 78,7
	AV/AT	1,11 ± 0,14	0,41 ± 0,07
19/10	AP (mg _{CaCO3} /L)	1457,7 ± 57,1	849,6 ± 25,1
	Al (mg _{CaCO3} /L))	595,9 ± 38,8	757,0 ± 18,5
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2053,6 ± 48,3	1606,6 ± 12,1
	AV (mg _{HAc} /L)	942,5 ± 270,1	1111,2 ± 34,4
	AV/AT	0,46 ± 0,13	0,69 ± 0,02

23/10	AP (mg _{CaCO3} /L)	3957,9 ± 47,4	2504,3 ± 130,5
	Al (mg _{CaCO3} /L))	1508,9 ± 68,4	434,5 ± 121,6
	AT (mg _{CaCO3} /L)	5466,8 ± 112,0	2938,8 ± 23,7
	AV (mg _{HAc} /L)	1693,7 ± 210,1	904,9 ± 54,8
	AV/AT	0,31 ± 0,04	0,31 ± 0,02
30/10	AP (mg _{CaCO3} /L)	8484,6 ± 435,7	2472,7 ± 13,7
	Al (mg _{CaCO3} /L))	2464,8 ± 301,7	418,7 ± 27,4
	AT (mg _{CaCO3} /L)	10949,4 ± 737,4	2891,4 ± 41,0
	AV (mg _{HAc} /L)	5250,9 ± 1221,5	429,6 ± 57,1
	AV/AT	0,48 ± 0,12	0,15 ± 0,02
01/11	AP (mg _{CaCO3} /L)	2721,2 ± 65,1	1811,8 ± 63,9
	Al (mg _{CaCO3} /L))	682,1 ± 92,9	383,7 ± 56,4
	AT (mg _{CaCO3} /L)	3403,3 ± 117,4	2195,4 ± 42,6
	AV (mg _{HAc} /L)	941,4 ± 96,3	557,5 ± 114,2
	AV/AT	0,28 ± 0,03	0,25 ± 0,05
13/11	AP (mg _{CaCO3} /L)	2152,8 ± 56,4	1669,7 ± 24,6
	Al (mg _{CaCO3} /L))	660,8 ± 153,7	461,8 ± 44,4
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2813,6 ± 139,8	2131,5 ± 63,9
	AV (mg _{HAc} /L)	813,5 ± 41,9	621,5 ± 41,9
	AV/AT	0,29 ± 0,02	0,29 ± 0,02
16/11	AP (mg _{CaCO3} /L)	1129,7 ± 76,9	1394,9 ± 68,0
	Al (mg _{CaCO3} /L))	639,5 ± 73,8	672,3 ± 96,7
	AT (mg _{CaCO3} /L)	1769,1 ± 21,3	2067,2 ± 54,4
	AV (mg _{HAc} /L)	859,2 ± 140,7	1200,4 ± 74,9
	AV/AT	0,49 ± 0,08	0,58 ± 0,04

21/11	AP (mg _{CaCO3} /L)	1658,8 ± 239,9	1634,2 ± 44,4
	Al (mg _{CaCO3} /L))	820,0 ± 333,2	461,8 ± 44,4
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2478,8 ± 573,1	2096,0 ± 61,5
	AV (mg _{HAc} /L)	2053,6 ± 42,1	548,4 ± 109,7
	AV/AT	0,83 ± 0,19	0,26 ± 0,05

FONTE: O Autor (2024)

APÊNDICE D - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ACIDEZ E ALCALINIDADE DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO

TABELA 4 - RESULTADOS DAS ANÁLISES DE ACIDEZ E ALCALINIDADE DAS AMOSTRAS DAS LAGOAS DE DECANTAÇÃO

Data	Análise de Acidez e Alcalinidade	Lagoa 1	Lagoa 2	Lagoa 3
14/09	AP (mg _{CaCO3} /L)	1847,3 ± 49,9	2293,4 ± 185,0	2155,2 ± 43,5
	Al (mg _{CaCO3} /L))	760,3 ± 28,8	653,5 ± 110,5	483,8 ± 10,9
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2607,6 ± 76,2	2946,9 ± 78,5	2639,0 ± 32,6
	AV (mg _{HAc} /L)	446,4 ± 0,0	317,5 ± 34,4	218,3 ± 45,5
	AV/AT	0,17 ± 0,01	0,11 ± 0,01	0,08 ± 0,02
25/09	AP (mg _{CaCO3} /L)	1941,5 ± 0,0	2196,0 ± 253,2	2026,4 ± 13,3
	Al (mg _{CaCO3} /L))	763,4 ± 40,0	697,4 ± 186,6	744,6 ± 13,3
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2705,0 ± 40,0	2893,5 ± 66,6	2770,9 ± 0,0
	AV (mg _{HAc} /L)	506,0 ± 126,3	312,5 ± 63,1	297,6 ± 42,1
	AV/AT	0,19 ± 0,05	0,11 ± 0,02	0,11 ± 0,02
02/10	AP (mg _{CaCO3} /L)	986,5 ± 172,7	1208,0 ± 0,0	1171,8 ± 34,2
	Al (mg _{CaCO3} /L))	302,0 ± 139,3	338,2 ± 153,8	247,6 ± 76,9
	AT (mg _{CaCO3} /L)	1288,5 ± 260,3	1546,2 ± 153,8	1419,4 ± 42,7
	AV (mg _{HAc} /L)	634,9 ± 90,9	580,4 ± 147,3	416,7 ± 42,1
	AV/AT	0,49 ± 0,12	0,38 ± 0,10	0,29 ± 0,03
19/10	AP (mg _{CaCO3} /L)	1159,7 ± 136,7	2354,2 ± 260,0	2251,5 ± 67,0
	Al (mg _{CaCO3} /L))	332,2 ± 111,0	355,5 ± 85,5	414,8 ± 83,8
	AT (mg _{CaCO3} /L)	1491,9 ± 25,6	2709,7 ± 207,1	2666,3 ± 16,8
	AV (mg _{HAc} /L)	416,7 ± 42,1	383,0 ± 34,8	526,1 ± 39,2

	AV/AT	0,28 ± 0,03	0,14 ± 0,02	0,20 ± 0,01
23/10	AP (mg _{CaCO3} /L)	2575,4 ± 83,2	2385,8 ± 130,5	1848,6 ± 23,7
	Al (mg _{CaCO3} /L))	355,5 ± 82,1	410,8 ± 89,7	331,8 ± 23,7
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2930,9 ± 36,2	2796,6 ± 47,4	2180,4 ± 0,0
	AV (mg _{HAc} /L)	767,8 ± 152,7	539,3 ± 155,9	457,0 ± 41,9
	AV/AT	0,26 ± 0,05	0,19 ± 0,06	0,21 ± 0,02
30/10	AP (mg _{CaCO3} /L)	2223,9 ± 68,5	1811,8 ± 21,3	-
	Al (mg _{CaCO3} /L))	241,6 ± 53,6	220,3 ± 24,6	-
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2465,4 ± 32,6	2032,0 ± 12,3	-
	AV (mg _{HAc} /L)	219,4 ± 27,4	210,2 ± 31,7	-
	AV/AT	0,09 ± 0,01	0,10 ± 0,02	-
13/11	AP (mg _{CaCO3} /L)	2174,1 ± 129,7	2266,5 ± 172,3	2216,8 ± 30,1
	Al (mg _{CaCO3} /L))	426,3 ± 110,8	355,3 ± 109,4	394,3 ± 45,2
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2600,4 ± 21,3	2621,7 ± 63,9	2611,1 ± 15,1
	AV (mg _{HAc} /L)	356,5 ± 82,3	639,8 ± 165,3	630,7 ± 271,4
	AV/AT	0,14 ± 0,03	0,24 ± 0,06	0,24 ± 0,10
21/11	AP (mg _{CaCO3} /L)	1804,7 ± 86,1	1975,2 ± 68,5	-
	Al (mg _{CaCO3} /L))	461,8 ± 107,3	419,2 ± 65,1	-
	AT (mg _{CaCO3} /L)	2266,5 ± 44,4	2394,4 ± 32,6	-
	AV (mg _{HAc} /L)	310,8 ± 31,7	228,5 ± 15,8	-
	AV/AT	0,14 ± 0,01	0,10 ± 0,01	-

FONTE: O Autor (2024)