

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
ENGENHARIA AMBIENTAL**

FELIPE MORITZ

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DE FRIGORÍFICO
DE PEIXES**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**MEDIANEIRA
2017**

FELIPE MORITZ

**PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DE FRIGORÍFICO
DE PEIXES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial à
obtenção do título de Engenheiro
Ambiental, da Universidade Tecnológica
Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Laercio M. Frare

**MEDIANEIRA
2017**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Medianeira
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DE FRIGORÍFICO DE PEIXES

por

FELIPE MORITZ

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 16:00h do dia 22 de junho de 2017, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare
Orientador

Prof. Dr. Eduardo Eyng
Membro Titular

Prof. Dr. Fábio Orsatto
Membro Titular

À Deus por mais esta graça concedida em minha vida

Aos meus pais, rocha da minha morada em que edifico minha casa, todo amor a vocês.

À minha namorada pelo carinho e conforto, e aos amigos pela felicidade transmitida nos momentos de dificuldade.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Doutor Laercio Mantovani Frare, que com profissionalismo excepcional se manteve paciente e eficaz no decorrer do estudo, transmitindo conhecimento admirável.

À minha namorada Andressa Carla Grosbelli pela paciência durante as dificuldades enfrentadas no decorrer do estudo e apoio nas análises laboratoriais.

Ao meu amigo Edelvan Severiano e amiga Lais Caroline Cremon que ajudaram e apoiaram no monitoramento do experimento.

À minha amiga Deize Mezzaroba que apoiou na contribuição de conhecimento.

Ao meu colega de pesquisa Cezar Fonseca pelo apoio no desenvolvimento das análises laboratoriais e contribuição de conhecimento.

MORITZ, Felipe. **Produção de biogás a partir de resíduos de frigorífico de peixes**. 2017. 77 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2017.

RESUMO

Entre as agroindústrias do Paraná, tem-se os frigoríficos de peixes, que geram quantidades significativas de resíduos sólidos devido ao processo de beneficiamento da carne. Esses resíduos possuem uma elevada carga de matéria orgânica e nutrientes que, se não forem tratados, causam contaminação do meio. Uma das formas de tratamento dos resíduos é a digestão anaeróbia que tem como um dos produtos o biogás. O presente estudo objetivou avaliar o potencial de produção de biogás a partir dos resíduos sólidos gerados em um frigorífico de peixes durante o processamento da espécie *Oreochromis niloticus*, comumente conhecida como Tilápia. Para avaliar a produção de biogás, os ensaios foram conduzidos em eudiômetros. Os resíduos de tilápia foram caracterizados por análises físico-químicas de sólidos totais (ST), sólidos fixos (STF), sólidos voláteis (STV), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total (NT), teor de gordura, demanda química de oxigênio (DQO), alcalinidade e condutividade elétrica. O biogás produzido também foi analisado em função da composição do metano, dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e outros gases, em menor quantidade, por cromatografia em fase gasosa. Quanto à caracterização físico-química do resíduo da Tilápia, o pH no início se manteve entre 8 e 8,5, concentração de 34,17% de ST, 5,94% de STF e 28,23% de STV, o carbono orgânico total (COT) foi de 20%, 1,9% de nitrogênio total, 11,15% de gordura, condutividade elétrica de $11,63 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, e alcalinidade total de $257 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de CaCO_3 . A relação carbono/nitrogênio apresentou 10,5:1 necessitando a correção com resíduos vegetais para atingir o ponto ideal. A DQO inicial do resíduo obtida foi de $2004,41 \text{ mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ obtendo uma eficiência na remoção de 90%, e remoção específica da DQO a partir do metano gerado de $1.084,34 \text{ mLCH}_4\cdot\text{gDQO}^{-1}_{\text{removida}}$. A produção de biogás do substrato foi satisfatória, com uma produção média de biogás de $2.459 \text{ mL}_N\cdot\text{gSV}^{-1}$, com teor médio de 57,82% de CH_4 , 6,65% de $\text{N}_2\text{-O}_2$, 18,75% de CO_2 , 0,0011% de H_2S e 7,47% de H_2O .

Palavras-chave: Codigestão; Resíduo da Tilápia; Composição do biogás.

MORITZ, Felipe. **Production of biogas from waste fish slaughter**. 2017. 77 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso. Bacharelado em Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2017.

ABSTRACT

Among the agroindustries of Paraná, there are fish slaughterhouses, which generate significant amounts of solid residues due to the process of meat processing. These residues have a high load of organic matter and nutrients that, if left untreated, cause contamination of the environment. One of the ways of treating waste is the anaerobic digestion that has as one of the products the biogas. The present study aimed to evaluate the biogas production potential from the solid waste generated in a fish slaughterhouse during the processing of the species *Oreochromis niloticus*, commonly known as Tilapia. To evaluate the biogas production, the tests were conducted in eudiometer. Tilapia residues were characterized by physical-chemical analysis of total solids (ST), fixed solids (FTS), volatile solids (VTS), total organic carbon (TOC), total nitrogen (NT), fat content, chemical Oxygen (COD), alkalinity and electrical conductivity. The biogas produced was also analyzed by the composition of methane, carbon dioxide, hydrogen sulfide and other gases, in a smaller quantity, by gas chromatography. As for the physicochemical characterization of the Tilapia residue, the pH at the beginning was maintained between 8 and 8.5, concentration of 34.17% of ST, 5.94% of STF and 28.23% of STV, carbon The total organic matter (TOC) was 20%, 1.9% of total nitrogen, 11.15% of fat, electrical conductivity of 11,63 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, and total alkalinity of 257 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ of CaCO_3 . The carbon / nitrogen ratio presented 10.5: 1 necessitating the correction with vegetal residues to reach the ideal point. The initial COD of the obtained residue was of 2004.41 $\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$ obtaining an efficiency in the removal of 90%, and specific removal of the COD from the generated methane of 1.084,34 $\text{mLCH}_4\cdot\text{gDQO}^{-1}_{\text{removed}}$. The biogas production from the substrate waste was satisfactory, with a mean biogas production of 2.459 $\text{mLN}\cdot\text{gSV}^{-1}$, with an average content of 57.82% CH_4 , 6.65% $\text{N}_2\text{-O}_2$, 18.75% CO_2 , 0,0011% H_2S and 7.47% H_2O .

Keywords: Codigestation; Tilapia residue; Composition of biogas.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de abate da Tilápia	26
Figura 2 - Ilustração dos componentes de um sistema eudiômetro	31
Figura 3 - Sistema experimental final com os 8 eudiômetros em um banho termostático.....	35
Figura 4 – Média da Porcentagem de gases dos eudiômetros E1 e E2 contendo inóculo, em dois períodos de análises.....	58
Figura 5 – Média da Porcentagem de gases dos eudiômetros E3 e E4 contendo celulose, em dois períodos de análises.....	60
Figura 6 - Média da Porcentagem de gases dos eudiômetros E5, E6, E7 e E8 contendo o substrato, em dois períodos diferentes de análises.....	62

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Volume de biogás produzido do inóculo durante 25 dias nos eudiômetros E1 e E2.....	48
Gráfico 2 - Desvio padrão do volume acumulado nos eudiômetros E1 e E2 contendo o inóculo.....	50
Gráfico 3 - – Volume de biogás produzido da celulose microcristalina durante 25 dias nos eudiômetros E3 e E4.	51
Gráfico 4 - Desvio padrão do volume acumulado nos eudiômetros E3 e E4 contendo a celulose microcristalina.	52
Gráfico 5 – Volume de biogás produzido do substrato durante 25 dias nos eudiômetros E5, E6, E7 e E8.	53
Gráfico 6 - Desvio padrão do volume acumulado nos eudiômetros E5, E6, E7 e E8 contendo o substrato.....	55
Gráfico 7 - Taxa de produção de biogás dos quatro eudiômetros contendo o substrato.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Estudos voltados para a área de produção de biogás a partir dos resíduos de processamento do pescado	23
Tabela 2 - Descrição resumida dos métodos físico-químicos utilizados na caracterização das amostras.....	28
Tabela 3 - Quantidades de inóculo nos eudiômetros E1 e E2.....	33
Tabela 4 - Quantidades de inóculo e celulose microcristalina nos eudiômetros E3 e E4.....	34
Tabela 5 - Quantidades de inóculo e substrato nos eudiômetros E5, E6, E7 e E8 ...	35
Tabela 6 - Composição do biogás padrão.....	37
Tabela 7 - Potencial hidrogeniônico da amostra bruta	38
Tabela 8 - Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis da amostra bruta	39
Tabela 9 - Porcentagem de Carbono Total da amostra bruta	40
Tabela 10 - Nitrogênio total e teor de gordura do resíduo da tilápia.....	41
Tabela 11 - DQO e Condutividade da amostra bruta	43
Tabela 12 – Alcalinidade total da amostra bruta	44
Tabela 13 - Potencial hidrogeniônico após os ensaios.....	45
Tabela 14 - DQO das amostras biodegradadas	46
Tabela 15 - Composição do biogás dos eudiômetros E1 e E2 contendo inóculo, analisado em dois períodos diferentes.....	57
Tabela 16 - Composição do biogás dos eudiômetros E3 e E4 contendo a celulose microcristalina, analisado em dois períodos diferentes.	59
Tabela 17 - Composição do biogás dos eudiômetros E5, E6, E7 e E8 contendo o substrato, analisado em dois períodos diferentes.	61

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas técnicas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
CV	Coefficiente de Variação
C:N	Relação Carbono:Nitrogênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
NI	Gases Não Identificados
NT	Nitrogênio Total
pH	Potencial Hidrogeniônico
ppm	Parte Por Milhão
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
UASB	Reator Upflow Anaerobic Sludge Blanket

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVO GERAL	15
2.1.1 Objetivos Específicos.....	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 PISCICULTURA NO BRASIL.....	16
3.2 PROCESSAMENTO E ABATE DE PEIXE.....	17
3.3 BIODIGESTÃO COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA.....	19
3.4 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA	19
3.4.1 Hidrólise.....	20
3.4.2 Acidogênese	21
3.4.3 Fermentação acetogênica	21
3.4.4 Metanogênese	22
3.4.5 Sulfetogênese.....	22
3.5 POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE RESÍDUOS DE PEIXE	23
4 MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1 SUBSTRATO E INÓCULO	25
4.1.1 Origem do Substrato.....	25
4.1.2 Preparo do Substrato para Análises	27
4.1.3 Inóculo Utilizado para os Ensaios de Digestão Anaeróbia.....	27
4.2 METODOLOGIA PARA ANÁLISES FÍSICO QUÍMICA GERAIS	28
4.2.1 Metodologia Nitrogênio Total (NT)	29
4.2.2 Metodologia teor de gordura.....	29
4.2.3 Metodologia condutividade elétrica.....	29
4.3 METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM EUDIÔMETROS.....	30
4.3.1 Descrição da Montagem e Funcionamento dos Eudiômetros.....	30
4.3.2 Determinação das Massas de Substrato e Inóculo a serem Adicionados no Eudiômetro	32
4.3.3 Monitoramento da Produção de Biogás pela Digestão Anaeróbia do Inóculo	33
4.3.4 Monitoramento da Produção de Biogás pela Digestão Anaeróbia de Celulose Cristalina	33
4.3.5 Monitoramento da Produção de Biogás pela Digestão Anaeróbia do substrato	34
4.3.6 Determinação dos Volumes de Biogás Produzidos nos Eudiômetros	36
4.3.7 Análise da composição do biogás	37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DO SUBSTRATO BRUTO	38
5.1.1 Potencial hidrogeniônico do substrato bruto	38

5.1.2	Sólidos Totais, Fixos e Voláteis	39
5.1.3	Carbono orgânico total (COT).....	40
5.1.4	Nitrogênio total e teor de gordura	41
5.1.5	Relação Carbono:Nitrogênio (C:N)	42
5.1.6	DQO e Condutividade do substrato bruto	43
5.1.7	Alcalinidade	44
5.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DAS AMOSTRAS BIODEGRADADAS	45
5.2.1	Potencial hidrogeniônico das amostras biodegradadas.....	45
5.2.2	DQO das amostras biodegradadas	46
5.3	POTENCIAL DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS DO EXPERIMENTO	48
5.3.1	Produção de biogás do inóculo.....	48
5.3.2	Produção de biogás da celulose microcristalina	50
5.3.3	Produção de biogás do substrato	53
5.4	COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DO EXPERIMENTO	57
5.4.1	Composição do biogás para os eudiômetros contendo inóculo.....	57
5.4.2	Composição do biogás para os eudiômetros contendo a celulose microcristalina	59
5.4.3	Composição do biogás para os eudiômetros contendo substrato	61
6	CONCLUSÕES	64
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

Com a crise do petróleo nos anos 70, a busca por fontes de energias renováveis, ganhou espaço e atenção significativa no mundo. Foi a partir desse momento, que a tecnologia de digestão anaeróbia foi trazida para o Brasil e que o biogás surgiu como uma dessas possíveis fontes energéticas. O uso da biomassa para fins energéticos, seja com resíduos agroindustriais, urbanos e rurais, permite a diversificação da matriz energética nacional, que hoje é baseada na utilização de hidrelétricas, e também para reduzir a emissão dos gases do efeito estufa.

Empresas do ramo da piscicultura, tais como frigoríficos de peixes, geram quantidades significativas de resíduos sólidos com alta carga de matéria orgânica e nutrientes. Quando não tratados de maneira eficiente, estes resíduos são despejados em locais inadequados fora dos padrões estabelecidos pela legislação vigente, causando contaminação, que dependendo da severidade pode até causar morte dos organismos vivos afetados.

Uma alternativa para redução de gastos de um frigorífico de peixes, e tratamento eficiente dos resíduos sólidos, para um espaço temporal a longo prazo, pode ser a instalação de um biodigestor como tecnologia de reduzir a carga orgânica do resíduo e utilizar o biogás resultante que possui considerável potencial energético. Alternativas como esta são estratégias ambientalmente corretas e sustentáveis para estas organizações. O tratamento dos efluentes associados com resíduos sólidos gerados por meio da biodigestão resulta em dois subprodutos, o biogás (composto, principalmente, por metano) e o lodo (digestato) que pode ser utilizado como fertilizante. Esta estratégia tem como principal foco para as empresas, o ganho econômico a partir da geração de energia utilizando o gás metano (CH_4) como combustível.

Para a obtenção do biogás e sua utilização como fonte energética, é necessário um planejamento desde a geração do resíduo sólido até sua disposição final, visando a operação adequada do sistema, monitorando e controlando seus parâmetros físico-químicos e biológicos. Uma forma de se planejar a obtenção do biogás, definindo condições ótimas para a operação do sistema, é a de realizar estudos analisando o potencial metanogênico dos substratos.

A implantação de um biodigestor para um frigorífico de peixes, atrelado com um sistema de geração de energia, resulta em um ganho econômico por parte da redução da energia elétrica consumida de concessionárias regionais, passando a ter sua própria geração de energia utilizando geradores estacionários movidos a biogás.

No presente estudo, foi avaliado o potencial de produção do biogás a partir de resíduos do peixe *Oreochromis niloticus* (Tilápia) gerado em um frigorífico de peixes, localizado na Região Oeste do Paraná, monitorando os parâmetros físico-químicos, a partir de testes realizados em laboratório. Os ensaios em escala laboratoriais são essenciais na busca de se obter um sistema favorável ao metabolismo microbiano e determinar as condições operacionais a serem trabalhadas em estudo de escala de bancada para, posteriormente, aplicá-lo em casos reais.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial da produção de biogás em um frigorífico de peixes a partir dos resíduos sólidos gerados no processamento da Tilápia.

2.1.1 Objetivos Específicos

- Determinar as características do resíduo de frigorífico de peixes.
- Avaliar a qualidade e eficiência do inóculo a partir da produção de biogás utilizando a celulose microcristalina como substrato padrão.
- Avaliar a produção de biogás do inóculo a partir de celulose cristalina
- Avaliar a concentração percentual de metano contido no biogás produzido

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PISCICULTURA NO BRASIL

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA, 2016), a aquicultura é o cultivo de organismos aquáticos em local definido e controlado, sem haver o contato direto com outros organismos. Possui vantagens que contribuem para a segurança alimentar, no sentido de gerar alimento de qualidade, com planejamento e regularidade.

Atualmente, grande parte da produção de pescado no Brasil já é originada da piscicultura, ou comumente chamada de aquicultura. O consumo de pescado por aumento per capita será cada vez mais dependente da disponibilidade e capacidade de adequação dos produtos às exigências do mercado consumidor (ROCHA, 2013).

No Brasil, as condições naturais para a prática da aquicultura são de grande potencial em quase toda sua dimensão territorial (3,5 milhões de km² de zona econômica exclusiva, e oito mil quilômetros de extensão costeira), o clima é favorável e a disponibilidade de recursos hídricos é constituída por aproximadamente 13% da água doce renovável do planeta. Mas, mesmo com tantas vantagens favoráveis, o Brasil ainda possui muitas condições para desenvolver seu potencial produtivo para a aquicultura (ROCHA, 2013).

A piscicultura é bem distribuída nas diversas regiões do Brasil, os tipos de peixes cultivados e o tamanho dos proprietários são diferenciados entre as regiões. Na região sul do Brasil, os principais produtores de peixes são os pequenos e médios produtores, tradicionalmente ligados à avicultura ou suinocultura, que reciclando os subprodutos da agroindústria avícola e suinícola, alimentam e produzem uma média de 1500 Kg de peixes.ha⁻¹.ano⁻¹ (ARRUDA, 2004). Sidonio et al. (2012) afirmam que o Brasil possui boas condições para a prática da piscicultura, porém um considerável mercado interno para importações longe do desejado para seu grande potencial de cultivo dos organismos aquáticos. No ano de 2009, o Brasil esteve entre os maiores produtores de peixes do mundo com 336 mil toneladas

(0,9% do total), ficando à frente de produtores tradicionais, como Taiwan (182.000 t) e Coreia do Sul (125.000 t).

Segundo o primeiro anuário brasileiro de pesca e aquicultura (2014), o Brasil é um dos sete maiores produtores de tilápia do mundo com produção de mais de 250 mil toneladas. Entre 2004 e 2014, a aquicultura foi o setor de carnes que mais cresceu entre os setores de frango, suínos e bovinos. Enquanto o crescimento anual médio de produção de bovinos foi de 5,1%, 4,1% para o frango e 2,9% para suínos, o crescimento da aquicultura foi de 8%, sendo a tilápia, responsável por 14,2% desse crescimento.

3.2 PROCESSAMENTO E ABATE DE PEIXE

Nos abatedores de peixe, para seu processamento, as formas mais utilizadas para comercialização são: a retirada do filé; o peixe inteiro eviscerado ou na forma de tronco limpo (sem a cabeça, nadadeiras, pele e vísceras). As formas podem variar de acordo com o tamanho do peixe abatido, quanto menor seu peso, mais as chances de se utilizar a forma do tronco limpo (SOUZA et al., 2000).

Para o processamento do peixe, a principal operação responsável pela limpeza do pescado é a filetagem, que consiste na retirada das partes impróprias para o comércio, tais como as vísceras, as nadadeiras, as escamas e a cabeça. É importante identificar o método de filetagem que apresenta os melhores resultados de obtenção da carne (filé). Por não existir um padrão de filetagem, há variações em relação ao melhor método a ser empregado. Com isso, os frigoríficos de peixes definem seus métodos próprios a fim de proporcionar o maior rendimento do filé (SOUZA, 2002).

O rendimento do filé extraído do corpo dos peixes é o item de maior valor econômico, o qual varia de acordo com o tipo do pescado e o domínio tecnológico que o frigorífico possui. O rendimento do filé para o peixe tilápia-do-Nilo (*Oreochromis spp*), por exemplo, varia de 25% até valores próximos a 42%, em função do peso corporal e métodos de filetagem (PINHEIRO, 2006).

Etapas que antecedem a filetagem já iniciam com a geração de efluentes através da lavagem do pescado, que tem como objetivo reduzir a microbiota

presente na superfície dos peixes e reduzir as glicoproteínas liberadas pelas suas glândulas (OGAWA; MAIA, 1999). Souza (2014) apresenta que além da geração do efluente na lavagem do pescado, há também a geração de efluentes com alta carga de matéria orgânica na lavagem que ocorre após a filetagem dos peixes, processo este com o objetivo de remover o sangue e resíduos deixados na etapa de filetagem.

Nos frigoríficos, a característica física do efluente varia de acordo com a operação unitária do sistema. Para os efluentes de lavagem, o efluente carrega uma carga orgânica baixa, já para as operações de filetagem, a carga orgânica é mais elevada com mudanças na forma do efluente, e para os tanques de estocagem, a carga de matéria orgânica é alta devido à presença de sangue e formas coloidais no efluente (SOUZA, 2014).

As indústrias de abate de peixes possuem entre si, suas particularidades com relação à filetagem do pescado. Dentre as operações no sistema, a filetagem necessita de quantidades elevadas de água para sua operação, gerando assim efluentes com resíduos grosseiros em sua composição (SOUZA, 2010).

Com problemas ambientais relacionados a atividade de abate de peixe, o principal impacto levantado com capacidade de afetar significativamente as condições naturais dos corpos hídricos é a eutrofização, causando efeitos adversos no rio como: proliferação de algas, diminuição da concentração de oxigênio dissolvido, formação de toxinas, odores, morte de peixes e até efeitos nocivos à saúde humana (KUMMER, 2011).

A geração de resíduos não está inteiramente ligada aos efluentes líquidos, mas também se concentra boa parte nos resíduos orgânicos do pescado. Segundo Kubitza (2000) a forma mais comum de aproveitar os resíduos gerados no processamento do pescado é a produção de farinha, utilizando-se de uma matéria prima barata para produção de um produto comercial. Estes resíduos são submetidos a um cozimento, seguido de prensagem, secagem e moagem.

O processamento dos resíduos da Tilápia com peso até 800 g produz, em média a partir dos resíduos, 85% de farinha, enquanto que Tilápias com peso acima de 800 g pode gerar um percentual de 70% de farinha (VIDOTTI; GOLÇALVES, 2006).

3.3 BIODIGESTÃO COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA

Como forma de mitigação dos problemas ambientais relacionados aos efluentes, são empregadas técnicas para remoção da elevada concentração de matéria orgânica e nitrogênio. As principais técnicas empregadas consistem no tratamento primário a partir de etapas físicas que preparam o efluente para a etapa seguinte e o tratamento secundário, onde a remoção ocorre a partir do tratamento biológico em condições aeróbicas, anaeróbicas ou anóxicas (KUMMER, 2011). Como solução de tratamento dos efluentes do pescado, a biodigestão anaeróbia se torna eficiente e ecologicamente viável, porém esta técnica encontra-se pouco desenvolvida nos processamentos de abate de peixes (SOUZA, 2010).

Nos biodigestores, tem-se como entrada o efluente concentrado e como saída o efluente tratado contendo concentrações menores de matéria orgânica e nutrientes. Em meio a este sistema, são gerados os gases e os chamados digestato como substratos. Dentre os gases, destaca-se o biogás que pode ser utilizado como fonte energética. O digestato pode passar a assumir condições de biofertilização a partir de seu tratamento e beneficiamento (SILVA, 2015).

Utilizando o biogás como fonte de energia, são aplicadas tecnologias para transformação de uma energia em outra. A energia química contida nas moléculas do gás metano é convertida em energia mecânica por um processo de combustão controlada. Essa energia mecânica de um motor estacionário e de carga pesada, ativa um gerador por meio de um eixo de transferência de força que a converte em energia elétrica. O biogás também pode ser utilizado na queima direta em caldeiras ou em maçaricos (PECORA, 2006).

3.4 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

Diferentemente do que ocorre no processo aeróbio, a degradação da matéria orgânica por via anaeróbia apresenta maior grau de complexidade, pois demanda a participação de diferentes grupos microbianos com funções diferenciadas (SANT'ANNA, 2013). A digestão anaeróbia representa um sistema

ecológico delicadamente balanceado, onde cada micro-organismo tem uma função essencial (CHERNICHARO, 1997).

As bactérias metanogênicas desempenham duas funções primordiais: produzem o gás metano, possibilitando a remoção do carbono orgânico do ambiente anaeróbio, além de utilizarem o hidrogênio, favorecendo o ambiente para que as bactérias acidogênicas fermentem compostos orgânicos com a produção de ácido acético, o qual é convertido a metano (CHERNICHARO, 1997).

A etapa denominada metanogênese é conduzida por um grupo muito específico de micro-organismos: as *arqueas* hidrogenotróficas e acetotróficas. As arqueas juntamente com as bactérias homoacetogênicas utilizam o CO_2 comoceptor de elétrons e realizam a respiração anaeróbia (SANT'ANNA, 2013).

No processo anaeróbio, são utilizados aceptores de elétrons inorgânicos como nitrato (NO_3^-), sulfato (SO_4^{2-}) ou dióxido de carbono (CO_2). A digestão anaeróbia de compostos orgânicos é, normalmente, considerada um processo de seis estágios. No primeiro estágio, um grupo de bactérias facultativas e anaeróbias, denominadas formadoras de ácidos ou fermentativas, convertem os orgânicos complexos em outros compostos. Compostos orgânicos complexos como carboidratos, proteínas e lipídios são hidrolisados, fermentados e biologicamente convertidos em materiais orgânicos mais simples, principalmente ácidos voláteis. No segundo estágio, ocorre a conversão dos ácidos orgânicos, gás carbônico e hidrogênio em produtos finais gasosos, o metano e o gás carbônico (CHERNICHARO, 1997). De um modo geral, as principais biotransformações que ocorrem durante a degradação anaeróbia da matéria orgânica são a hidrólise, acidogênese, acetogênese, metanogênese e sulfetogênese.

3.4.1 Hidrólise

Neste processo o material orgânico particulado é convertido em compostos dissolvidos de menor peso molecular. É através das enzimas hidrolíticas que são excretadas por diversas espécies microbianas que degradam as proteínas formando aminoácidos. Os carboidratos transformam-se em açúcares e os lipídios são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa (FORESTI, 1999).

Na anaerobiose, a hidrólise dos polímeros usualmente ocorre de forma lenta, sendo vários os fatores que podem afetar o grau e a taxa em que o substrato é hidrolisado: temperatura operacional do reator; tempo de residência do substrato no reator; composição do substrato (teores de lignina, carboidrato, proteína e gordura); tamanho das partículas; pH do meio; concentração de NH_4^+ ; concentração de produtos da hidrólise (ácidos graxos voláteis)(LETTINGA, 1996).

3.4.2 Acidogênese

As substâncias resultantes da etapa de hidrólise são fermentadas, gerando ácidos carboxílicos de cadeia curta, os chamados ácidos voláteis (fórmico, acético, propiônico, butírico e valérico). Nas condições prevalentes no meio racional (pH, temperatura) esses ácidos se apresentam na forma dissociada, sendo referidos como formiato, acetato, propionato entre outros (SANT'ANNA, 2013).

3.4.3 Fermentação acetogênica

Essa é uma das etapas críticas do processo, sendo conduzida por um grupo de bactérias denominadas acetogênicas, as quais estabelecem relação de simbiose com as *arqueas* metanogênicas e as bactérias homoacetogênicas. Nessa etapa os ácidos de maior cadeia são transformados em ácidos com apenas um ou dois átomos de carbono (formiato e acetato) com concomitante produção de hidrogênio. Como será visto mais adiante, a transferência de hidrogênio entre espécies é um fato essencial para que ocorra a conversão dos ácidos de maior cadeia a acetato e formiato (SANT'ANNA, 2013).

3.4.4 Metanogênese

Nesta fase, as *archeas* metanogênicas metabolizam os ácidos formados na fase anterior. Dentre elas, destacam as que utilizam o acetato (*Methanosarcina spp.* e *Mathanotrix spp.*) e as que utilizam o hidrogênio (*Methanobacterium spp.* e *Methanococcus spp.*) (MIRANDA, 2009). Os compostos gerados na etapa anterior são metabolizados, havendo a desassimilação de metano e dióxido de carbono (GRANATO, 2003).

As *archeas* metanogênicas são os principais responsáveis pela efetiva mineralização, transformando compostos orgânicos de pequena cadeia, contendo, em geral, um e dois átomos de carbono em metano e gás carbônico ou produzindo metano e água a partir de H_2 e CO_2 . A produção de metano resulta de metabolismo complexo e diferenciado quanto aos substratos de partida. Várias enzimas têm papel fundamental e, ademais, cofatores enzimáticos desempenham papel relevante como transportadores de carbono ou como fornecedores de elétrons nas reações de oxirredução. A via metabólica de produção redutiva de metano parece estar mais elucidada e envolve a redução do CO_2 ao grupo formila, posterior redução deste para metileno e em seguida para metila e, finalmente redução do grupo metila a metano (SANT'ANNA, 2013).

3.4.5 Sulfetogênese

A produção de sulfetos é um processo no qual o sulfato e outros compostos a base de enxofre são utilizados como aceptores de elétrons durante a oxidação de compostos orgânicos. Durante este processo, sulfato, sulfito e outros compostos sulfurados são reduzidos a sulfeto, através da ação de um grupo de bactérias anaeróbias estritas, denominadas bactérias redutoras de sulfato. Estas bactérias são consideradas um grupo muito versátil de micro-organismos, capazes de utilizar uma ampla gama de substratos, incluindo toda a cadeia de ácidos graxos voláteis, diversos ácidos aromáticos, hidrogênio, metanol, etanol, glicerol, açúcares, aminoácidos e vários compostos fenólicos (CHERNICHARO, 1997).

3.5 POTENCIAL ENERGÉTICO A PARTIR DE RESÍDUOS DE PEIXE

Na Tabela 1 estão apresentados alguns estudos que utilizaram os resíduos do processamento do pescado para produção de biogás.

Tabela 1 - Estudos voltados para a área de produção de biogás a partir dos resíduos de processamento do pescado

Autores(as)	Título do estudo	Ano de publicação
Eduardo Galdino Souza	Geração de biodiesel e biogás a partir dos resíduos do processamento de Tilápia do Nilo	2014
Geovan Carlos Southe	Aproveitamento da massa visceral da Tilápia (<i>Oreochromis niloticus</i>) para a produção de biogás	2014
Julián Sánchez Santa; Sebastián Rivera Carvajal	Caracterización técnica de la implementación de un biodigestor en el tratamiento de estiércol de truchas	2015
Milena Alves de Souza	Eficiência do processo de ultrafiltração seguido de biodigestão anaeróbia no tratamento de efluente de frigorífico de tilápia	2010

Segundo Souza (2014), se os resíduos oriundos do processamento do pescado forem utilizados para produção de energia, resulta em um grande potencial para reduzir os gases causadores do efeito estufa e minimizar a crise de energia mundial.

Soethe (2014) demonstrou em seu estudo que utilizando as vísceras da Tilápia *Oreochromis* como substrato, a produção do biogás apresentou-se dentro dos níveis recomendados, com uma produção média entre 77 a 86% em volume do gás metano, constatando assim um grande potencial para fonte energética. A quantidade de biogás produzido foi de 15,47 mL de CH₄.gSV⁻¹, e o pH ótimo para a operação do sistema encontrado para este tipo de substrato estabeleceu entre 6,27 à 7,02.

A produção de biogás é satisfatória para o substrato advinda do peixe Tilápia *Oreochromis*, porém constatou-se uma dispersão na quantidade de macro e micro nutrientes contidos no efluente, esta dispersão pode afetar a eficiência da

biodigestão, comprometendo assim a atividade microbiana em condições anaeróbias. Os nutrientes com elevados níveis de concentração contidos no substrato eram: S, N, Fe, Mn (SOUTHE, 2014).

Em um reator anaeróbio com substrato composto por resíduos de peixes, a sensibilidade às variações do pH pode causar alteração no volume do gás metano. Com o aumento do pH há uma redução no volume do metano. Outros parâmetros afetam na operação desses sistemas, os ácidos orgânicos podem variar de 374 à 914 mg.L⁻¹, o nitrogênio amoniacal total de 114,7 à 201,7 mgNAT.L⁻¹, e amônia livre de 3,5 à 12,1 mgNH₃.L⁻¹, respectivamente. Se o sistema estiver em desequilíbrio com algum destes parâmetros, serão condições inibidoras aos microrganismos anaeróbios, comprometendo a eficiência da produção do biogás (SOUZA, 2014).

Santa et al. (2015) desenvolveram um sistema que permitiu produzir biogás a partir dos resíduos de Trutas utilizadas como substrato. As análises foram realizadas nas instalações de uma empresa comercial da cidade de Santa Rosa de Cabal – Colômbia. O biodigestor utilizado possuía cinco metros de comprimento por dois metros de diâmetro. A produção de biogás foi satisfatória, resultou em uma produção diária de 1,8 m³ do gás, e uma produção de 203,33 litros de fertilizante.

Em outro estudo, Souza (2010) avaliou a eficiência do processo de ultrafiltração como preparação do efluente para a etapa de biodigestão. Esta etapa, anterior a biodigestão, teve o objetivo de separar o particulado grosseiro, bem como o sangue gerado na filetagem. O concentrado obtido na ultrafiltração confere alto potencial de produção de biogás. A média de produção de biogás foi de 0,0033 m³.dia⁻¹.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 SUBSTRATO E INÓCULO

4.1.1 Origem do Substrato

O substrato utilizado foi obtido em um frigorífico de peixes localizado na região oeste do Paraná. A espécie de peixe utilizada no abate era basicamente a Tilápia. O substrato era composto dos resíduos gerados nos processos desde o abate até a expedição final do produto, sua composição era uma mistura homogênea dos seguintes resíduos: sangue; escamas; vísceras; pele; nadadeiras; e da estrutura óssea que divide em cabeça e espinha.

O frigorífico de peixes em particular abate aproximadamente entre 7 a 10 toneladas de Tilápia por dia, variando de acordo com a demanda e época do ano. Deste montante de peixe abatido, cerca de 6 toneladas (70%) são provenientes dos resíduos do processamento da Tilápia, no entanto, isso pode variar de acordo com o tipo de filetagem e o tamanho do peixe. Souza et al. (2000) avaliaram o rendimento do processamento da Tilápia para diferentes tipos de corte e tamanho da Tilápia, e obtiveram o maior rendimento para os peixes com aproximadamente 550 gramas atingindo 30% em filé, e o tipo de corte mais eficaz foi o do tipo oblíquo.

Os principais processos no frigorífico que gera os resíduos são: sangria; escamagem, evisceração e filetagem com a retirada do filé. Na Figura 1 pode-se visualizar o fluxograma que descreve, de forma geral, os processos do frigorífico de abate de peixes e as etapas que geram os resíduos, onde estes foram obtidos e utilizados no presente trabalho.

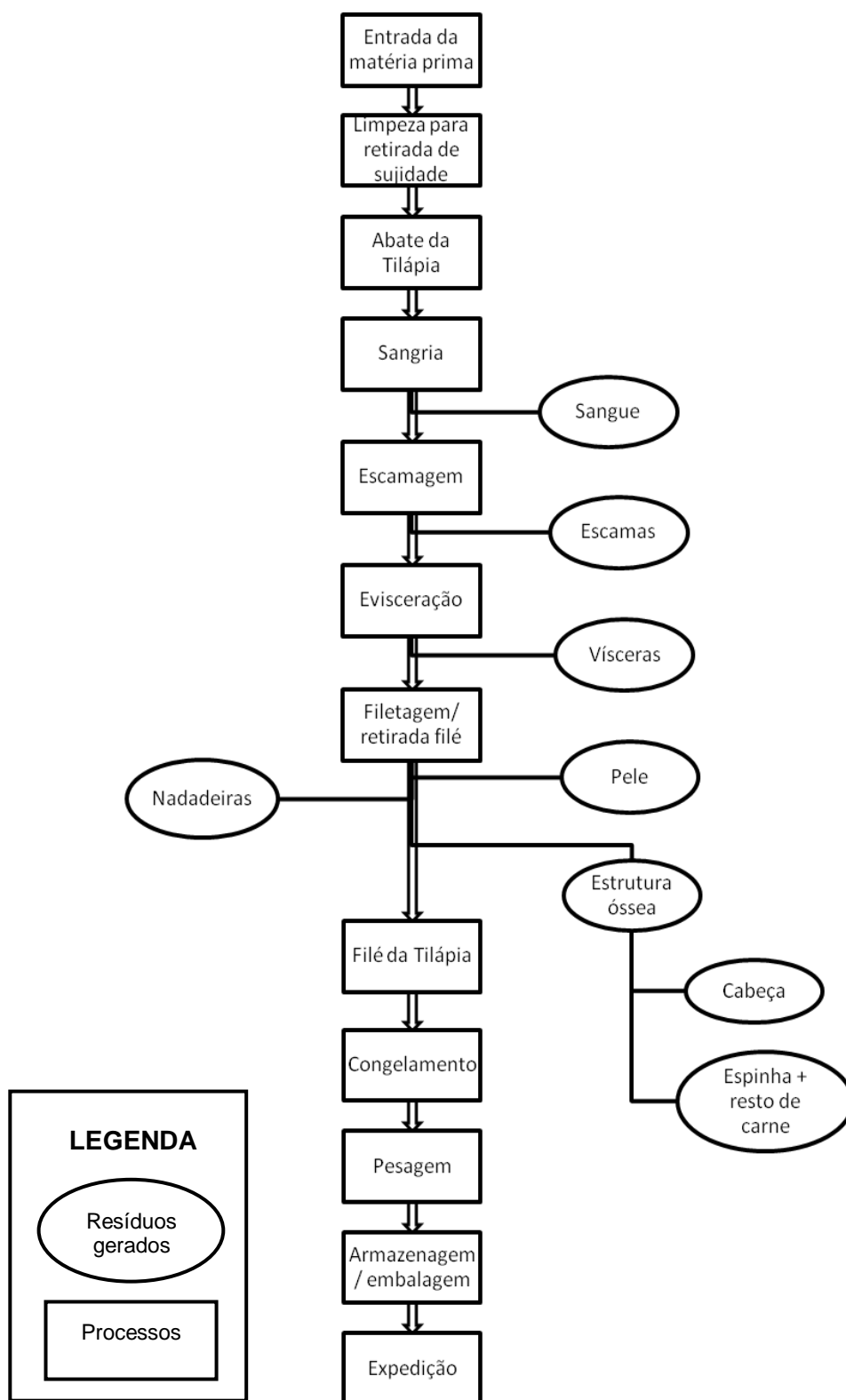


Figura 1 - Fluxograma do processo de abate da Tilápia

4.1.2 Preparo do Substrato para Análises

O experimento e as análises físico-químicas foram realizados nas dependências da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira. Apenas as análises de nitrogênio total e teor de gordura foram realizadas em laboratório externo. O substrato piscícola foi obtido em um frigorífico de abate de peixes localizado na Região Oeste do Paraná. A coleta do substrato bruto foi realizada em recipientes de descarte do resíduo de processamento. O substrato é composto por vísceras, escamas, pele, espinha dorsal e cabeça do peixe *Oreochromis niloticus*, comumente conhecido como Tilápia.

Na primeira parte do trabalho experimental, com objetivo de garantir a execução das análises físico-químicas e dos ensaios experimentais de biodigestão anaeróbia em tubos eudiômetros, foi realizado o preparo das amostras com a seguinte sequência:

- a) Obtenção de uma amostra homogênea de todas as partes do resíduo do peixe de, aproximadamente, 8 kg;
- b) Homogeneização da amostra utilizando um recipiente de 20 L;
- c) Trituração da amostra em um moedor de carne comercial;
- d) Homogeneização da amostra moída;
- e) Armazenagem em sacos plásticos com vedação, e mantido congelado até a obtenção da parcela necessária para a realização das análises subsequentes.

4.1.3 Inóculo Utilizado para os Ensaios de Digestão Anaeróbia

O inóculo foi obtido de biodigestores localizados na região Oeste do Paraná. Seu preparo ocorre a partir da mistura entre o lodo de biodigestor suíno, bovino e dejetos brutos de bovino, com as proporções de 1L, 1L e 0,5L respectivamente e aclimatado a temperatura de 37°C por um período de 15 dias.

O inóculo foi aclimatado com substrato por um período de 15 dias, adicionando-se aproximadamente 25 gramas por semana de substrato até o início do experimento com eudiômetro.

4.2 METODOLOGIA PARA ANÁLISES FÍSICO QUÍMICA GERAIS

A caracterização das amostras consiste em analisar alguns parâmetros físico-químicos para obter conclusões da operação do sistema. As análises realizadas foram: Demanda Química de Oxigênio (DQO); sólidos totais (ST); sólidos totais fixos (STF); sólidos totais voláteis (STV); alcalinidade; Nitrogênio Total (NT); Carbono orgânico total (COT); condutividade elétrica, teor de gordura e potencial hidrogeniônico (pH). Foram realizadas duas etapas de análises, uma para caracterizar as amostras anterior ao experimento, e outra etapa após concluído o experimento com os eudiômetros. Na primeira etapa foram realizadas todas as análises citadas anteriormente, já para a segunda etapa, foram realizadas apenas as análises de pH e DQO.

Na Tabela 2 apresentam-se as descrições resumidas de todas as análises físico-químicas utilizadas.

Tabela 2 - Descrição resumida dos métodos físico-químicos utilizados na caracterização das amostras

Análise	Descrição resumida do método oficial	Método / Referência
ST, STV e STF	Evaporação da amostra em estufa à 105° C, e posterior calcinação em mufla à 560° C.	2540B / APHA, 1998
COT	Oxidação da MO com ácido crômio na presença de H ₂ SO ₄ . Titulação do excesso de Cr com sulfato ferroso amoniacal.	Walkley and Black, 1934
DQO	Consiste na digestão da amostra à 150° C por 2h e posterior leitura em espectrofotômetro	5220D / APHA 2012
Alcalinidade	Método volumétrico com detecção potenciométrica, no qual a Al é medida por titulação com H ₂ SO ₄ até pH 5,75, e a AT até pH 8,3.	Ripley et al., 1986

4.2.1 Metodologia Nitrogênio Total (NT)

A análise de nitrogênio total foi realizada por laboratório externo, segundo metodologia AACC 46-13.01 da *American Association of Cereal Chemistry*, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Relatório acreditado conforme ABNT NBR ISSO/IEC 17025:2005.

4.2.2 Metodologia teor de gordura

A análise de gordura foi realizada por laboratório externo, segundo metodologia da Portaria 108 de 04/09/1991, método n° 10, da *American Association of Cereal Chemistry*, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Relatório acreditado conforme ABNT NBR ISSO/IEC 17025:2005.

4.2.3 Metodologia condutividade elétrica

A condutividade elétrica foi obtida a partir do equipamento condutivímetro modelo HI2300, com precisão de 1% da leitura, ou seja, $0,05 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. A leitura é corrigida para a temperatura de referência de 25°C. O substrato foi diluído em água destilada e agitado por cinco minutos, foi diluído 5 gramas de amostra em 250 mL de água.

4.3 METODOLOGIA PARA REALIZAÇÃO DE EXPERIMENTOS PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM EUDIÔMETROS

4.3.1 Descrição da Montagem e Funcionamento dos Eudiômetros

Para avaliar o potencial metanogênico de um substrato por meio da digestão anaeróbia, pode-se utilizar um sistema denominado de eudiômetro (Figura 2). O eudiômetro é constituído por um tubo de 300 mL de volume (B) (volume pode ser diferente de acordo com fabricante), sendo graduado com divisões de escala de 1 mL. O tubo é acoplado com um reator (câmara digestora) de volume aproximado de 250 mL (A) por meio de uma junta de vidro esmerilhado. O tubo de ligação (C) passa através do fundo do tubo do eudiômetro e permite que o gás do digestor seja coletado no tubo de medição. O tubo de ligação deve ser mantido em posição por quatro entradas de vidro que estão em torno dele. Na extremidade inferior do tubo do eudiômetro, um vidro adaptado deve ser montado com comprimento suficiente para o nivelamento de um tubo de vidro ou de plástico (G) (de pelo menos 750 mL de volume). E também uma mangueira cônica para recolher as amostras de gás (H).

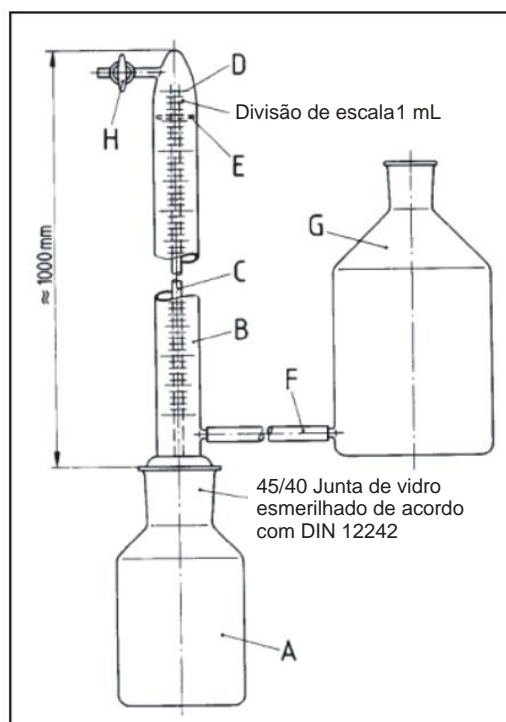


Figura 2 - Ilustração dos componentes de um sistema eudiômetro
 Fonte: VDI 4630 (2006).

O vidro adaptado e interligado (G) na extremidade inferior do tubo do eudiômetro deve ser preenchido com um líquido capaz de impedir a passagem do biogás (solução barreira). Para isso foi preparada, em um balão volumétrico, uma solução que continha 30 mL de ácido sulfúrico, 88,21 g de sulfato de sódio, 3 gotas de indicador alaranjado de metila e completado o volume de 1000 mL com água destilada. Esta solução adquire uma cor magenta e deve ser armazenada em temperatura ambiente.

Durante a operação do eudiômetro, as câmaras digestoras ficaram imersas em um banho termostático mantido a uma temperatura de 40°C. Foi utilizado um termômetro de mercúrio para o controle da temperatura da água e do ar, e um barômetro de Torricelli para a medição da pressão ambiente.

As câmaras digestoras devem ser preenchidas com as quantidades indicadas de substrato e inóculo. As quantidades são definidas após as análises físico-químicas de caracterização do substrato e do inóculo.

Por meio do nivelamento dos recipientes B e G, e com a torneira do tubo do eudiômetro (H) aberto, o líquido de selagem (solução barreira) deve ser ajustado para a marca que indica zero. Enquanto se faz isso, o líquido de selagem não entra

no tubo de ligação, portanto a amostra do lodo também não. O reservatório do nivelamento ainda deve estar um quarto cheio. A torneira (H) deve ser fechada. O frasco com o substrato misturado com o inóculo deve ser armazenado no abrigo da luz.

O volume de gás produzido deve ser lido todas as vezes que o líquido de selagem e o reservatório de nivelamento estiverem iguais. O volume de gás, inicialmente, foi lido três vezes ao dia ou, se necessário, mais frequentemente, e de acordo com a evolução da produção de gás, em intervalos de vários dias. Todas essas informações devem ser registradas em uma tabela. Segundo a norma VDI 4630, o experimento deve continuar até que a taxa de produção de gás diária seja inferior a 1% de todo o biogás acumulado até este momento. A maior quantidade de gás é produzida, normalmente, na primeira semana do teste de digestão e, a maior parte da biodegradação, é completada após 20 dias.

A temperatura do biogás e a pressão atmosférica são variáveis que devem ser monitoradas e registradas no momento da leitura do volume de gás no eudiômetro. Dependendo da evolução do gás, o líquido de selagem deve ser reajustado para zero depois de cada leitura. Com auxílio de uma agulha de seringa, a tampa superior do eudiômetro (H) contendo septo deve ser perfurada para a saída do gás e ocorrer o reajuste a zero, não pode haver entrada de ar durante este processo. Em muitos casos, a determinação do volume de gás liberado será suficiente.

4.3.2 Determinação das Massas de Substrato e Inóculo a serem Adicionados no Eudiômetro

Para estimar as massas do inóculo e do substrato, foram utilizados os resultados das análises de sólidos totais e voláteis. A estimativa foi obtida a partir da Equação 1, onde foi definido a massa de inóculo a ser inserida no experimento para a adequada biodegradação do substrato. Considera-se ideal um teor de sólidos voláteis do inóculo ideal entre 1,5 a 2% conforme os critérios da norma VDI 4630 (2006).

$$M_i = \frac{M_a \cdot S_{Va}}{F \cdot S_{Vi}} \quad (1)$$

Onde **M_i** é a massa do inóculo a ser inserida nas câmaras digestoras dos eudiômetros, em g; **M_a** é a massa da amostra a ser inserida nas câmaras digestoras dos eudiômetros, em g; **S_{Va}** é a fração de sólidos voláteis da amostra; **S_{Vi}** é a fração de sólidos voláteis do inóculo e **F** é uma relação entre S_{Va} e S_{Vi} que deve ser estimada entre 0 e 0,5. O F utilizado no presente estudo foi de 0,25.

As câmaras digestoras e os eudiômetros foram limpos com solução de potassa alcoólica e solução sulfocrômica para a retirada de resíduos que podem afetar os micro-organismos.

4.3.3 Monitoramento da Produção de Biogás pela Digestão Anaeróbia do Inóculo

Nos eudiômetros E1 e E2 (Tabela 3) foram adicionados apenas o inóculo utilizado. O volume produzido a partir do inóculo deve ser subtraído do volume produzido das amostras de substrato obtidos.

Tabela 3 - Quantidades de inóculo nos eudiômetros E1 e E2

Eudiômetro	Composto	Massa amostra (g)	Massa inóculo (g)	Volume total (mL)
E1	Inóculo	-	199,1	266
E2	Inóculo	-	199,39	266

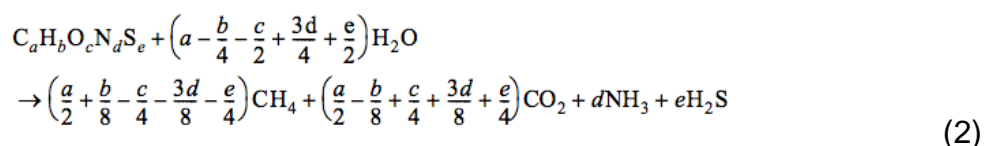
4.3.4 Monitoramento da Produção de Biogás pela Digestão Anaeróbia de Celulose Cristalina

Na Tabela 4 são apresentados os valores de massa de inóculo e de celulose cristalina utilizada nos ensaios para os eudiômetros E3 e E4.

Tabela 4 - Quantidades de inóculo e celulose microcristalina nos eudiômetros E3 e E4.

Eudiômetro	Composto	Massa de celulose (g)	Massa Inóculo (g)	Volume total (mL)
E3	Inóculo + celulose	3,53	199,01	270
E4	Inóculo + celulose	3,53	199,17	270

A quantidade teórica de biogás produzido, a partir de uma amostra de composição conhecida, pode ser determinada utilizando-se a equação de Boyle (Equação 2).



Na Eq. 2 os termos a , b , c , d e e são os coeficientes da fórmula molecular. Como amostra padrão, para analisar a eficiência do inóculo, foi utilizada a celulose microcristalina. A celulose microcristalina (*Synth*) de fórmula molecular $C_6H_{10}O_5$ possui um alto potencial como substrato na produção do biogás devido à sua alta degradabilidade (quantidade de sólidos voláteis pode ser próxima de 100%). A conversão de 100% de celulose leva a valores de 740 a 750 $mL_N \cdot gSV^{-1}$, onde teoricamente 1 mol da celulose produziria 22,4 Litros de biogás nas condições normais de temperatura e pressão. Espera-se que se alcance, aproximadamente, 80% desse valor em testes em batelada com inóculos eficientes (VDI 4630). De 3 a 10% da amostra é convertida em novas células do inóculo e não são convertidos em biogás.

4.3.5 Monitoramento da Produção de Biogás pela Digestão Anaeróbia do substrato

Os eudiômetros E5, E6, E7 e E8 foram montados com as massas de amostra de substrato e inóculo segundo os dados apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Quantidades de inóculo e substrato nos eudiômetros E5, E6, E7 e E8

Eudiômetro	Composto	Massa de substrato (g)	Massa Inóculo (g)	Volume total (mL)
E5	Inóculo+substrato	10,24	199,21	270
E6	Inóculo+substrato	10,08	199,44	270
E7	Inóculo+substrato	10,20	199,06	270
E8	Inóculo+substrato	10,17	199,01	270

Na Figura 3 pode-se observar a disposição final do sistema utilizando os 8 eudiômetros para a realização do experimento.



Figura 3 - Sistema experimental final com os 8 eudiômetros em um banho termostático.

Todas as câmaras digestoras foram completadas com água na seguinte proporção: 75% de inóculo, 25% de água e 0,85% de NaCl.

4.3.6 Determinação dos Volumes de Biogás Produzidos nos Eudiômetros

O volume de biogás obtido em cada eudiômetro foi corrigido em função da temperatura e da pressão ambientes. A metodologia para esta correção consiste na aplicação da Equação 3.

$$V_o = V \cdot (P_{ar} - P_{\acute{a}gua}) \cdot T_o / (P_{atm} \cdot T) \quad (3)$$

Onde V_o é o volume padrão do biogás no digestor, em mL; V é o volume lido diretamente no eudiômetro, em mL; P_{ar} é a pressão atmosférica no momento da leitura, em mbar; $P_{\acute{a}gua}$ é a pressão de vapor da água em função da temperatura ambiente, em mbar; T_o é a temperatura padrão (273 K); P_{atm} é a pressão padrão (1013 mbar) e T é a temperatura do gás ou da temperatura ambiente, em K.

A pressão de vapor de água pode ser calculada, utilizando-se a equação 4.

$$P_{\acute{a}gua} = 10^{8,1962 - \frac{1.730,63}{T - 39,724}} \quad (4)$$

Onde $P_{\acute{a}gua}$ é a pressão de vapor em mbar, e T é a temperatura ambiente, em K.

Além da correção do volume de biogás produzido no eudiômetro, foram feitas correções do volume de biogás produzido em amostras de inóculo pura, ou seja, a proporção do gás produzido pelo inóculo. A metodologia para esta correção consiste na aplicação da Equação 5:

$$V_{icorr} = \frac{\Sigma V_i \cdot mM}{mi} \quad (5)$$

Onde V_{icorr} é o volume de gás extraído do inóculo, em mL; ΣV_i é a soma dos volumes de gás do teste realizado com o inóculo para a consideração da duração do teste, em mL; mM é a massa do inóculo usado na mistura, em g e mi é a massa do inóculo usado no teste de controle, em g;

4.3.7 Análise da composição do biogás

A análise da composição de biogás foi realizada por meio de cromatografia gasosa em um cromatógrafo com Detector de Condutividade Térmica (TCD) da marca Perkin Elmer, modelo Clarus 680, sendo identificadas as frações de nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2), metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e sulfeto de hidrogênio (H_2S). Foi utilizada uma coluna empacotada Plot Q, utilizando-se Hélio como gás de arraste a uma vazão de $30,0 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$ e uma rampa de aquecimento que permanece numa temperatura de 32° C nos 3,5 min iniciais, aumenta de 32° C até 100° C numa taxa de $20^\circ \text{ C}\cdot\text{min}^{-1}$, ao chegar em 100° C e permanece nesta temperatura por mais 2 min.

Inicialmente realizaram-se análises com biogás padrão contendo as concentrações conhecidas dos gases nitrogênio (N_2), oxigênio (O_2), metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S). A composição do biogás padrão está apresentada na Tabela 6.

Todas as análises foram realizadas em duplicatas. Foi injetado um volume de $200 \mu\text{L}$ de biogás em cada análise utilizando-se de uma seringa da marca Hamilton, modelo 1750RN SYR (22/2''/2 com capacidade de $500 \mu\text{L}$).

Tabela 6 - Composição do biogás padrão

Elemento	Fração na mistura ($\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)
CH_4	0,6507
CO_2	0,2994
H_2S	0,007
N_2-O_2	0,04276

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DO SUBSTRATO BRUTO

5.1.1 Potencial hidrogeniônico do substrato bruto

Os resultados do pH encontrado para os parâmetros da Tabela 7 apresentam-se todos acima de 8, pH este antes de iniciar o experimento com os eudiômetros.

Tabela 7 - Potencial hidrogeniônico da amostra bruta

Composição	pH	Precisão
Resíduo da Tilápia	8,4	± 0,01
Inóculo	8,41	± 0,01
Inóculo + Amostra	8,48	± 0,01
Inóculo + celulose	8,39	± 0,01

A partir do resultado obtido, pode-se afirmar que o pH de todos os parâmetros analisados encontram-se acima da faixa ideal estabelecida por Chernicharo (2007) entre 6,0 e 8,0, faixa esta ideal para o crescimento das *arqueas* metanogênicas, conclui ainda que a faixa ótima de operação seria entre 6,6 e 7,4. faixas acima podem inibir as atividades das *arqueas* bactérias.

5.1.2 Sólidos Totais, Fixos e Voláteis

Os resultados das análises de sólidos para as diferentes composições apresentam as seguintes porcentagens, conforme é possível verificar na Tabela 8.

Tabela 8 - Sólidos totais, sólidos totais fixos e sólidos totais voláteis da amostra bruta

Composição	ST (%)	CV	STF (%)	CV	STV (%)	CV
Inóculo	3,2726	0,74%	1,2881	0,06%	1,9844	0,08%
Substrato	34,1736	1,2%	5,9409	0,16%	28,2326	0,42%
Celulose microcristalina	96,14	0,005%	10,7564	0,28%	85,3935	0,096%

Notas:

(ST) Sólidos totais

(STF) Sólidos totais fixos

(STV) Sólidos totais voláteis

(CV) Coeficiente de variação

A partir dos resultados encontrados, a celulose microcristalina apresentou maior porcentagem para os três parâmetros analisados, o percentual de sólidos totais voláteis (85%) da celulose caracteriza uma excelente bioconversão teórica em biogás da parcela orgânica, ou seja, dos sólidos totais voláteis conforme a norma VDI 4630 (2006). Oliveira e Hiragashi (2006) concluem que quanto maior o percentual de sólidos voláteis na amostra, maior será a conversão da matéria orgânica em biogás.

O valor obtido de 1,98% para sólidos voláteis do inóculo corroboram com o preconizado nas normativas (ISO 11734, 1995; VDI 4630, 2006) que diz que para o teste do potencial de produção do biogás, o inóculo deve apresentar de 1,5 a 2% de sólidos voláteis.

Já para os resíduos da tilápia, Soethe (2014) analisou sua amostra composta por vísceras da Tilápia resultando em uma porcentagem de 91,64%, pode-se observar a diferença com o resultado encontrado de 28,23% do resíduo da Tilápia utilizada no atual trabalho, composta não só pelas vísceras, mas também

para as escamas, espinha, pele e cabeça, diferença esta devido à presença de água e fluído no resíduo da Tilápia aumentando assim a quantidade de umidade na amostra.

5.1.3 Carbono orgânico total (COT)

Com objetivo de determinar a relação carbono:nitrogênio do resíduo de Tilápia, foi analisado o carbono orgânico total conforme segue na Tabela 9.

Tabela 9 - Porcentagem de Carbono Total da amostra bruta

Composição	COT (%)	CV
Inóculo	2,145	5,1%
Resíduo da Tilápia	20,083	1,9 %

Notas:
 (COT) Carbono Orgânico Total
 (CV) Coeficiente de Variação

O resíduo da Tilápia apresentou valor significativo de 20,08% de carbono orgânico total, já para o inóculo, o teor de carbono é aproximadamente 10 vezes menor. Morgano et al. (2007, p. 167) analisou o teor de carbono residual em 257 peixes utilizando-se apenas o filé (carne) como amostra e obteve uma média de 4%. Pode-se dizer que nos resíduos o teor de carbono seja elevado devido a presença de outros elementos carbonatados.

5.1.4 Nitrogênio total e teor de gordura

Com objetivo de obter a relação C:N ideal para o metabolismo anaeróbico do sistema, realizou-se a análise de nitrogênio total, seguido pelo teor de gordura conforme segue na Tabela 10.

Tabela 10 - Nitrogênio total e teor de gordura do resíduo da tilápia

Parâmetros	Resíduo da Tilápia	Incerteza
Gordura	11,15 %	0,2
Nitrogênio Total	1,9 %	-

Fonte: Relatório de ensaio nº2551.2017.A-V0. Empresa Nucleotclab

O teor de gordura apresentou uma média de 11,15% para o resíduo da Tilápia, parâmetro este contemplado pelas vísceras, pele, escamas, espinha e a cabeça. Segundo Boscolo et al. (2010, p. 519) o teor de gordura possui variáveis no depósito de gordura visceral, estas variáveis estão diretamente relacionadas ao tamanho do peixe e a época do ano, uma vez que no atual trabalho foi utilizado as vísceras no resíduo da Tilápia.

Os indivíduos foram coletados e preparados para as análises no mês de março/2017, período este com temperaturas elevadas na região devido ao verão, os indivíduos possuíam porte médio com variações no peso de 300 a 600 gramas.

Soethe (2014) analisou o percentual de gordura apenas para as vísceras da Tilápia, e observou um total de 20,03%. Em se tratando de outra espécie de peixe, a matrinxã (*Brycon cephalus*) possui um percentual de gordura nas vísceras de 43% para todas as classes de tamanho (MACEDO-VIEGAS, 2000, p. 727). A quantidade de gordura do peixe varia de espécie para espécie, uma vez que o comportamento de cada espécie varia de acordo com sua alimentação.

O teor de gordura no pescado pode estar relacionado também à ração utilizada na engorda. Deve-se salientar que na literatura, o teor de gordura analisado é para apenas as vísceras, e como no presente trabalho a amostra contém outras

partes da Tilápia, o teor de gordura é diferenciado pelo equilíbrio entre as partes com maior e menor porcentagem de gordura.

Para a análise de nitrogênio total, o resultado obtido foi de 1,9%. Para os processos biológicos em tratamento de esgoto, todas as células vivas são formadas por tipos similares de compostos, requerendo, portanto, os mesmos elementos nas mesmas proporções relativas, assim as bactérias metanogênicas possuem em sua composição uma concentração de nitrogênio com aproximadamente 65 g.kgSST^{-1} (CHERNICHARO, 1997). Essa concentração equivale a 6,5% dos sólidos suspensos totais, e no presente trabalho, a concentração de nitrogênio no composto utilizado de resíduo da Tilápia está abaixo com 1,9% (19 g.kgSST^{-1}). Esta deficiência de nitrogênio no resíduo da tilápia pode ter afetado o metabolismo dos micro-organismos no experimento nas formas amoniacais e gasosas.

5.1.5 Relação Carbono:Nitrogênio (C:N)

A relação carbono/nitrogênio pode manter a estabilidade no processo de fermentação, se o substrato possuir uma adequada relação C:N, o sistema será operado sem possíveis reduções na atividade metabólica ou haver formação excessiva de amônia (NH_3) (BRAUN, 1982).

Comastri (1981) sugere a correção do sistema com resíduos de vegetais para atingir o ponto ideal, esta correção se dá pela baixa relação C:N por possuírem muito nitrogênio. Comastri (1981) sugere também que para uma digestão ótima acontecer é necessário que o substrato possua uma relação C:N de 20 a 30:1, ou seja, 20 a 30 partes de carbono para um nitrogênio.

Leite (2008) em sua pesquisa estudou o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos oriundos de uma feira livre da cidade de Campina Grande e lodo de esgoto sanitário proveniente de tanques sépticos e reatores UASB, o resultado foi a produção de um material estabilizado para ser utilizado como insumo agrícola, e a relação C:N do sistema foi de 12,1 partes de carbono para um de nitrogênio.

Utilizando os resultados obtidos no presente trabalho do carbono orgânico total (20%) e do nitrogênio total (1,9%), a relação C:N encontrada revela um valor de 10,5:1, ou seja, 10,5 partes de carbono para um de nitrogênio. A partir dos autores e

suas pesquisas citadas anteriormente, sugere-se que este tipo de substrato utilizado seja corrigido com resíduos vegetais para atingir o ponto ideal.

5.1.6 DQO e Condutividade do substrato bruto

Os resultados da análise de DQO e condutividade foram realizados em dois períodos, uma análise anterior ao experimento eudiômetro (Tabela 11), e outra análises após o experimento eudiômetro, conforme segue os resultados.

Tabela 11 - DQO e Condutividade da amostra bruta

Composto	DQO (mgO₂.L⁻¹)	CV	Condutividade (μS.cm⁻¹) 25°C
Substrato	2004,41	5,95%	11,63 ± 0,05

Notas:
(CV) Coeficiente de variação

O resultado obtido da DQO (2004,41 mgO₂.L⁻¹) apresentou-se semelhante ao observado por Cosmann et al. (2009), onde caracterizaram o efluente bruto de um abatedouro de peixe e encontraram uma concentração de 2.128 mgO₂.L⁻¹, esta semelhança se dá ao fato de utilizar o substrato diluído em água, reproduzindo um efluente da indústria do abate de pescado.

Em se tratando da condutividade elétrica, o resultado obtido foi de 11,63 μS.cm⁻¹. Os eletrólitos contidos em uma substância líquida com os íons de carga positiva e negativa, classifica o grau de condutibilidade do eletrólito considerando a concentração de uma determinada substância, ou seja, a capacidade de conduzir ou não eletricidade está relacionado com a concentração de nutrientes e minerais, portanto, quanto maior a concentração em uma substância, maior será a capacidade de conduzir eletricidade (STAFF, 1998).

5.1.7 Alcalinidade

Os resultados obtidos do parâmetro da alcalinidade em termos de carbonato de cálcio para o substrato de peixe estão apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Alcalinidade total da amostra bruta

Composto	Alcalinidade Total (mg.L⁻¹ de CaCO₃)	CV
Substrato (SU)	257	1,1%

Notas:
(CV) Coeficiente de variação

Souza (2014) Analisou os resíduos do processamento da tilápia afluenta a um reator de neutralização UASB, a alcalinidade total encontrada foi de 950 mg.L⁻¹ de CaCO₃. A alcalinidade encontrada apresenta-se abaixo com o autor citado anteriormente, atingindo um valor de 257 mg.L⁻¹ de CaCO₃.

Dependendo do tipo do sistema e das substâncias encontradas nele, a alcalinidade pode possuir a capacidade de tamponamento misturando um ácido fraco com o seu sal correspondente, a alcalinidade pode interagir com ácidos voláteis a partir da capacidade em neutralizar os ácidos formados no processo, esta interação deriva da decomposição dos compostos orgânicos durante a digestão (CHERNICHARO, 1997).

5.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO QUÍMICA DAS AMOSTRAS BIODEGRADADAS

5.2.1 Potencial hidrogeniônico das amostras biodegradadas

Passado os 25 dias do experimento com os eudiômetros, foi analisado o pH com o substrato de peixe e a celulose biodegradados, juntamente com o inóculo, os resultados seguem na Tabela 13.

Tabela 13 - Potencial hidrogeniônico após os ensaios

Eudiômetro	Composição	pH	Precisão
E1	Inóculo	8,54	± 0,01
E2	Inóculo	8,35	± 0,01
E3	Inóculo + celulose	8,34	± 0,01
E4	Inóculo + celulose	8,26	± 0,01
E5	Inóculo + substrato	8,41	± 0,01
E6	Inóculo + substrato	8,45	± 0,01
E7	Inóculo + substrato	8,44	± 0,01
E8	Inóculo + substrato	8,43	± 0,01

Pereira et al. (2009) recomendam manter o pH em um reator UASB de efluente da suinocultura entre 6,8 a 8,8, favorecendo condição para que os ácidos graxos voláteis, composto tóxico para as bactérias metanogênicas, estejam em sua maioria na forma ionizada.

Segundo Chernicharo (1997), pH acima de 8 pode ocasionar uma diminuição significativa da taxa de produção de metano. Já Soethe (2014) afirma que se o pH estiver entre 5 e 7, proporcionam maior eficiência na produção de

metano podendo atingir 75% em volume do biogás. Souza (2010) analisou o potencial de produção do biogás utilizando os efluentes de um abatedouro de Tilápia, os valores de pH encontrados foram entre 6 e 7, produzindo uma elevada concentração de metano, cerca de 78% em volume do biogás. A partir destes autores, pode-se dizer que o pH influenciou na produção de metano, uma vez que o pH analisado para os eudiômetros contendo o substrato estiveram todos acima de 8, e a porcentagem de metano no sistema atingiu 63% em média, abaixo do observado por Souza (2010).

A mesma ideia se aplica para os eudiômetros contendo a celulose microcristalina, que apresentaram pH superior a 8, onde a quantidade de biogás presente no sistema (35,51%) foi baixa comparada com a produzida pelo substrato (63%).

5.2.2 DQO das amostras biodegradadas

Seguindo as análises para a caracterização das amostras, foi dada sequência na caracterização das amostras biodegradadas no experimento, os resultados da DQO estão expressos na Tabela 14.

Tabela 14 - DQO das amostras biodegradadas

Eudiômetros	Composição	DQO (mgO₂.L⁻¹)	CV
E1	Inóculo	142,27	0,43
E2	Inóculo	163,02	0,74
E3	Inóculo + celulose	168,77	0,59
E4	Inóculo + celulose	159,02	0,69
E5	Inóculo + substrato	200,1	2,66
E6	Inóculo + substrato	204,77	0,77
E7	Inóculo + substrato	196,02	1,86
E8	Inóculo + substrato	198,35	1,83

Notas:
(CV) Coeficiente de variação

Pode-se observar uma aproximação do resultado da DQO dos eudiômetros contendo somente o inóculo com os demais, tal semelhança está relacionada à aclimação do inóculo com o substrato, portanto, quando iniciado o experimento, o inóculo já possuía uma pequena quantidade de substrato.

A DQO inicial do sistema obtida antes do experimento foi de 2004,41 $\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, já a média da DQO final foi dos quatro eudiômetros contendo a Tilápia E5, E6, E7 e E8 foi de 199,81 $\text{mgO}_2\cdot\text{L}^{-1}$, resultando em uma eficiência na remoção da DQO de 90%. Para o cálculo da eficiência. A remoção de 90% corrobora com o definido por Chernicharo (1996), onde os sistemas de reatores anaeróbicos geram pouca biomassa (10%) e removem um montante aproximado de 90 a 95% da DQO.

Outra forma de expressar a DQO é a partir de sua remoção por biogás produzido, ou expressa em $\text{mLCH}_4\cdot\text{gDQO}^{-1}_{\text{removida}}$, a partir disso foi calculado essa expressão utilizando a média de metano produzido para os quatro eudiômetros contendo o substrato, e atingiu o valor de 1.084,34 $\text{mLCH}_4\cdot\text{gDQO}^{-1}_{\text{removida}}$. Souza (2014) avaliou a produção de biogás das vísceras da Tilápia em reator UASB de fluxo contínuo, e obteve uma produção específica do metano de 5.100 $\text{mLCH}_4\cdot\text{gDQO}^{-1}_{\text{removida}}$. Já Bilotta e Ross (2016) analisaram o biogás gerado em uma estação de tratamento de esgotos, a produção específica de biogás obtida foi de 3.710 $\text{mLCH}_4\cdot\text{gDQO}^{-1}_{\text{removida}}$.

Segundo Prado et al. (2010) a partir de águas residuárias do café, avaliaram o potencial de produção de biogás em reator UASB durante um período de 86 dias, a produção de biogás específica foi de 382 a 421 $\text{mLCH}_4\cdot\text{gDQO}^{-1}_{\text{removida}}$. Todos os autores, exceto Prado (2010), revelaram superior produção específica de biogás comparados com o presente estudo, fato este relacionado à escala dos experimentos, tempo e condições de operação, substrato utilizado, DQO removida no sistema e elevada produção de biogás. Comparando com Prado (2010) a produção de biogás específico foi superior ao do autor, onde os fatores apresentados anteriormente foram decisivos.

Segundo Chernicharo (2007), a produção específica teórica do biogás é de 350 $\text{mLbiogás}\cdot\text{gDQO}^{-1}_{\text{removida}}$, produção esta considerando o biogás com 50% de CH_4 e 50% de CO_2 . Comparando com o obtido no presente estudo, a produção de biogás por DQO removida foi consideravelmente mais elevada, aproximadamente 1.902,3 $\text{mLbiogás}\cdot\text{gDQO}^{-1}_{\text{removida}}$, fato este devido às diferenças nas concentrações de CH_4 e CO_2 do biogás.

5.3 POTENCIAL DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS DO EXPERIMENTO

Para auxiliar na interpretação dos resultados, serão apresentados, separadamente, na seguinte ordem: eudiômetros contendo somente o inóculo (E1 e E2); eudiômetros contendo o inóculo mais a celulose microcristalina (E3 e E4); e eudiômetros contendo o substrato (E5, E6, E7 e E8).

5.3.1 Produção de biogás do inóculo

A produção de biogás, após 25 dias de experimento, utilizando apenas o inóculo nos eudiômetros, está apresentada no Gráfico 1.

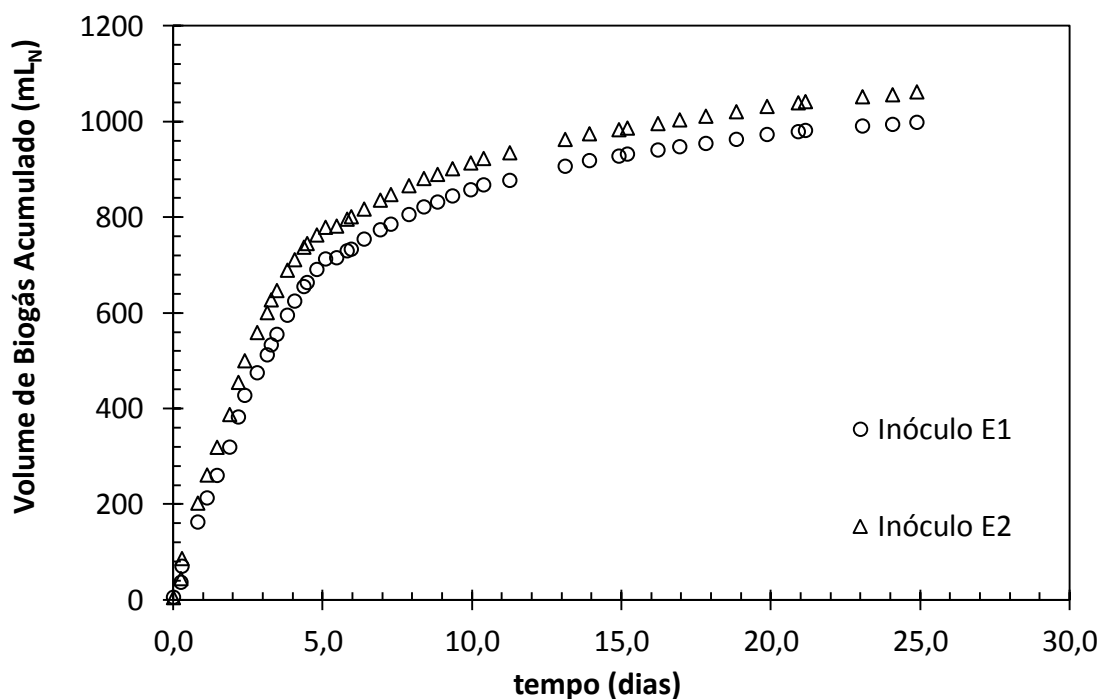


Gráfico 1 – Volume de biogás produzido do inóculo durante 25 dias nos eudiômetros E1 e E2.

A produção total específica de biogás, durante os 25 dias de análise, foi de

998 mL_N para o E1, e 1.061,8 mL_N para o E2, possuindo uma média de 1.029,9 mL_N.

Pode-se observar nos dois eudiômetros um aumento acentuado na quantidade acumulada de biogás, segundo a norma VDI 4630 (2006) isso ocorre quando as substâncias presentes no sistema são facilmente degradáveis e convertidas em biogás, caso contrário, a curva apresentaria estágios retardados com dificuldades de degradação, ou estágios de duas fases (tipo escada) quando ocorre uma inibição no sistema. Do tempo total de experimento, a fase inicial, os primeiros 5 dias foram os que apresentaram maior taxa de produção de biogás.

Deve salientar que tal produção de biogás, apenas do inóculo, ocorreu porque o inóculo já havia sendo aclimatado com cargas baixas do substrato utilizado no presente trabalho, esta aclimação ocorreu em período anterior ao experimento para que evitasse um desequilíbrio na microbiota.

Chernicharo (1997) explica que uma produção de biogás acentuada nos primeiros dias ocorre pela conversão de matéria particulada complexa (polímeros) em materiais dissolvidos mais simples a partir das fases hidrolíticas e acidogênicas, estas fases possuem um elevado metabolismo fermentativo, e baixa produção de novas células microbianas, resultando em uma elevada produção de dióxido de carbono e baixa concentração de metano.

As duas curvas de produção apresentaram boa semelhança e baixa variabilidade dos dados conforme pode se observar no Gráfico 2.

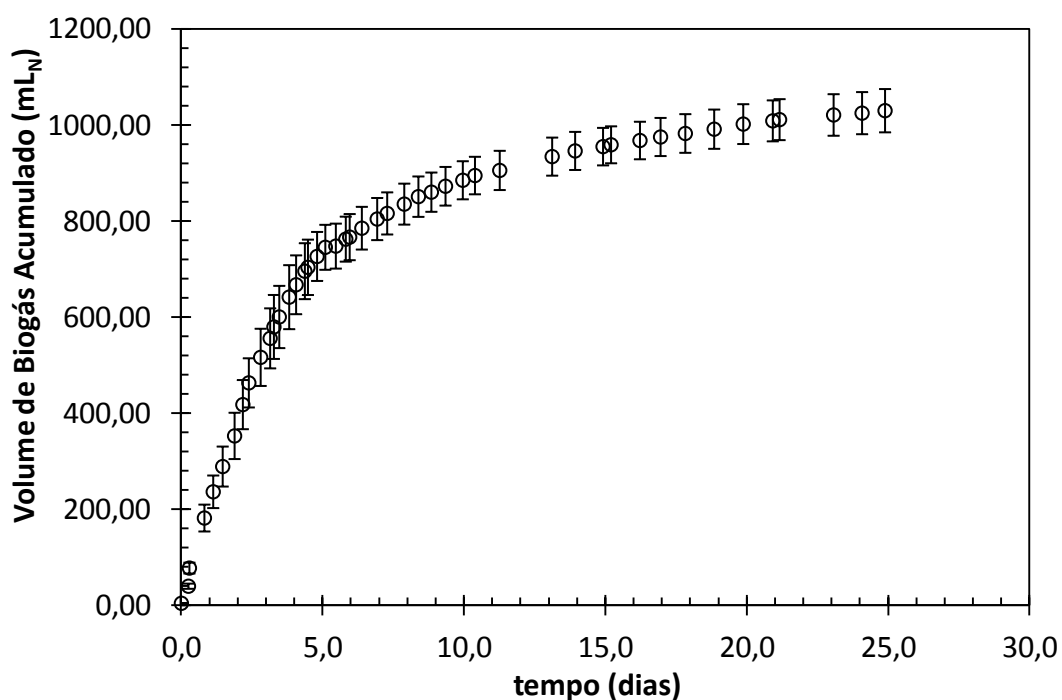


Gráfico 2 - Desvio padrão do volume acumulado nos eudiômetros E1 e E2 contendo o inóculo

No Gráfico 2, apesar de haver um aumento gradativo no erro da fase inicial entre os dados dos eudiômetros E1 e E2, o erro se manteve constante até o término do experimento. Isto comprova a compatibilidade dos dados da análise em duplicata para o inóculo.

5.3.2 Produção de biogás da celulose microcristalina

Os eudiômetros E3 e E4 contendo o inóculo mais a celulose microcristalina como um padrão de referência, a curva (Gráfico 3) representada pela produção acumulada de biogás durante os 25 dias de experimento apresentou uma forma diferente comparada com a curva dos eudiômetros E1 e E2.

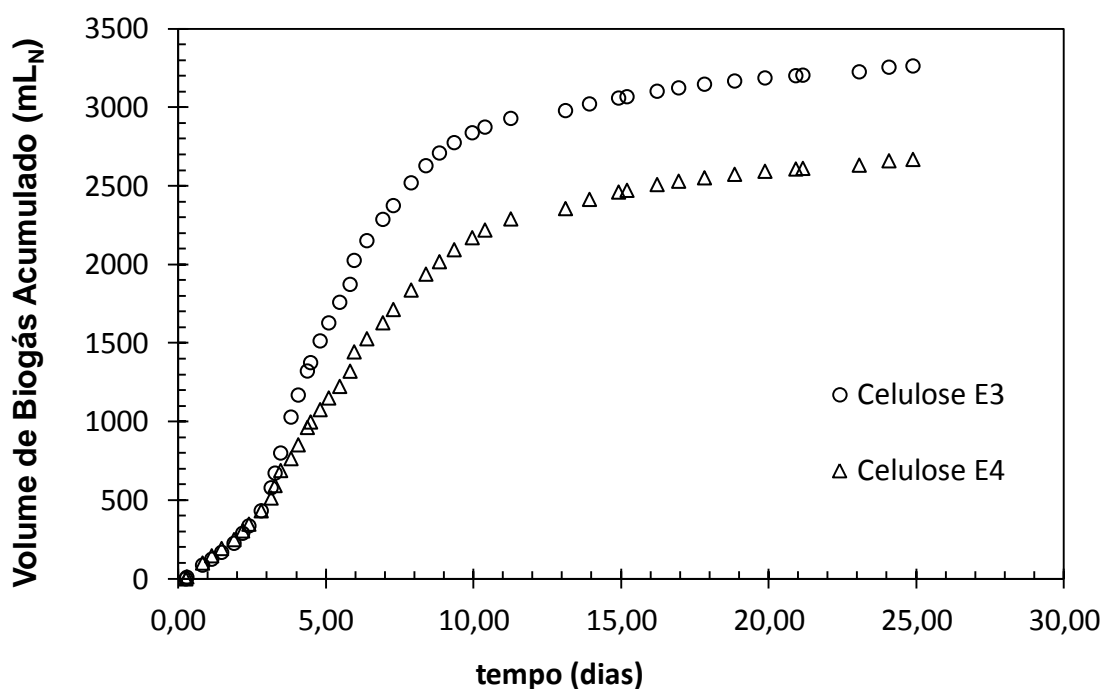


Gráfico 3 - - Volume de biogás produzido da celulose microcristalina durante 25 dias nos eudiômetros E3 e E4.

Durante a fase inicial, nos primeiros quatro dias, o volume acumulado apresenta baixa taxa de produção, a norma VDI 4630 (2006) define este tipo de curva como retardada, e descreve dois motivos para esta forma, o primeiro motivo seria pela difícil degradação de substâncias que contenham lignina e gorduras. O outro motivo seria por uma ligeira inibição no sistema. Como a celulose microcristalina possui uma alta degradabilidade e ausência de substâncias de difícil degradação, uma provável inibição na fase inicial pode ter afetado o sistema de forma significativa.

Após a fase inicial de inibição, iniciou a fase de produção acentuada do biogás do E3 e E4, e com elevada taxa de produção até aproximadamente o décimo dia, depois o sistema foi estabilizando até o vigésimo quinto dia. É notório que houve uma produção acumulada de biogás maior para o E3, pode-se dizer que o período de inibição foi mais rápida que a do E4, corroborando com o resultado de produção do terceiro dia, onde o E3 inicia com uma produção mais acentuada.

A produção de biogás normalizada durante os 25 dias de análise foi de 3.264 mL_N para o E3, e 2.670 mL_N para o E4. A produção total específica de biogás descontando a produção diária pelo inóculo foi de 775 mL_N.gSV⁻¹ para o E3, e 569

$\text{mL}_N.\text{gSV}^{-1}$ para o E4, possuindo uma média de $672 \text{ mL}_N.\text{gSV}^{-1}$. A produção total específica da média entre os dois eudiômetros atingiram 90% da produção estabelecida pela norma VDI 4630 (2006), onde a norma espera que alcance aproximadamente 80% no teste para validar a eficiência do inóculo.

Tápparo et al. (2016) analisaram a partir do experimento com eudiômetro, o potencial de produção do biogás da celulose microcristalina durante um período de 25 dias, e obtiveram uma produção de biogás específico de $738 \text{ mL}_N.\text{gSV}^{-1}$, correspondente a cerca de 99,7% de recuperação estabelecida pela norma VDI 4630.

As duas curvas também revelaram uma considerável discrepância entre os resultados da produção acumulada de biogás, esta variação iniciou a partir do terceiro dia, e aumentou gradativamente até sua estabilização a partir do décimo primeiro dia, onde o erro é representado no Gráfico 4.

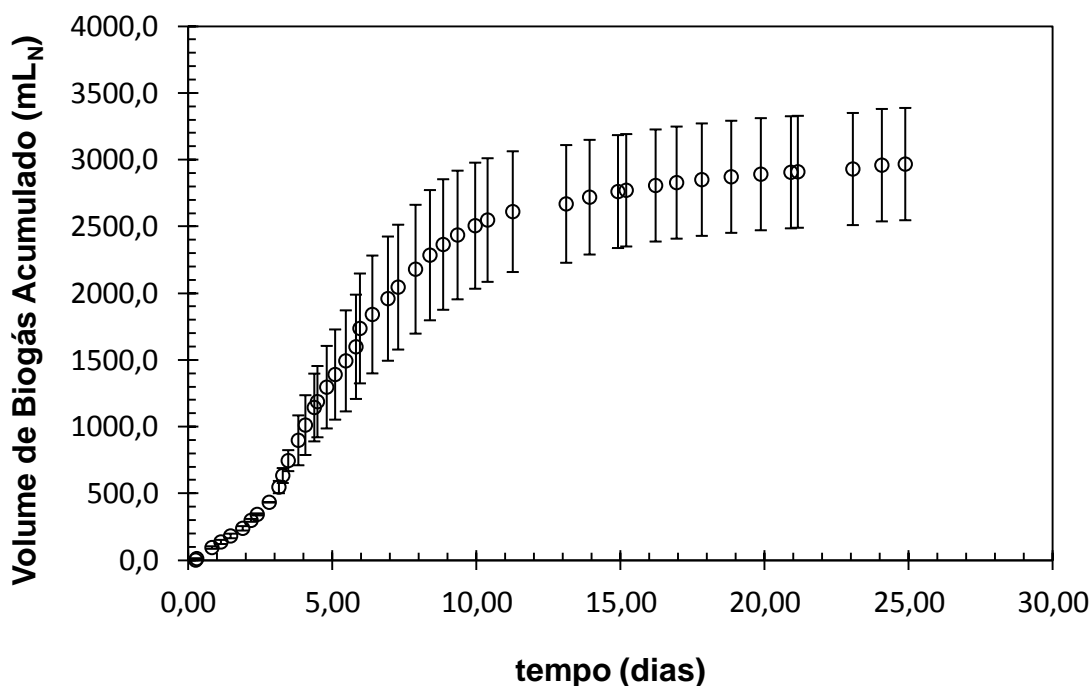


Gráfico 4 - Desvio padrão do volume acumulado nos eudiômetros E3 e E4 contendo a celulose microcristalina.

O erro na fase inicial e de inibição foi pequeno, e apresentou um aumento na fase de alta taxa da produção de biogás atingindo variação de até 100 mL_N , e se

manteve constante até o equilíbrio, com variação de até 150 mL_N.

5.3.3 Produção de biogás do substrato

Em se tratando de substrato a partir do substrato da Tilápia, os resultados obtidos da produção acumulada de biogás para o período de análise de 25 dias está representado no Gráfico 5.

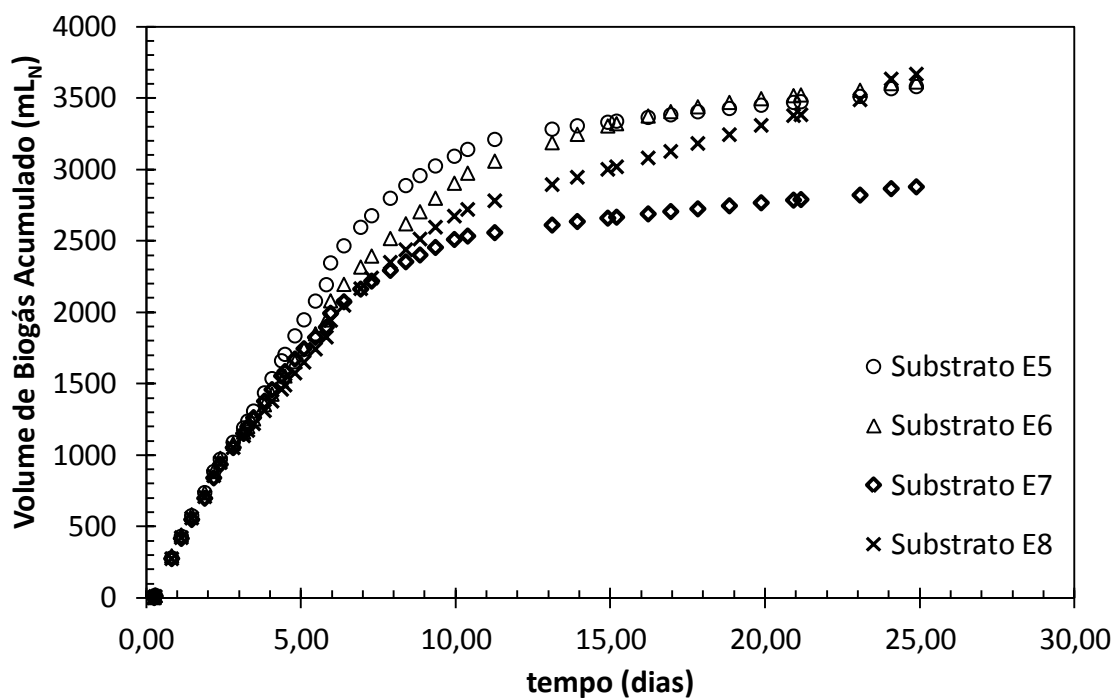


Gráfico 5 – Volume de biogás produzido do substrato durante 25 dias nos eudiômetros E5, E6, E7 e E8.

Dentre as quatro curvas representadas, houve semelhança na forma das curvas com uma acentuada produção até aproximadamente o décimo dia, e finalizando com a fase de estabilização. Segundo a norma VDI 4630 (2006), a curva se aproxima a uma curva normal de produção, onde há uma produção elevada nos primeiros dias e estabilização dos próximos dias que segue.

Segundo Chernicharo (1997), do ponto de vista da cinética do reator

anaeróbico, o sistema pode ser descrito como um processo de três estágios, envolvendo a hidrólise de orgânicos complexos, a produção de ácidos e produção de metano. Cita também que na digestão anaeróbica de lodos de estações de tratamento de efluentes, a hidrólise dos sólidos orgânicos complexos constitui a etapa limitante do processo.

Os eudiômetros E5 e E6 apresentaram semelhança na forma da curva e volume acumulado produzido, já para os eudiômetros E7 e E8 as curvas se diferenciaram, onde o E7 possuindo uma semelhança com a forma da curva do E5 e E6, porém com inferior volume acumulado de biogás. Já o E8 distinguiu a forma dos demais eudiômetros, e apresentou ascensão da curva quando os demais eudiômetros permaneceram na fase de estabilização.

A produção de biogás normalizada durante os 25 dias de análise foi de 3.578 mL_N para o E5, 3.610 mL_N para o E6, 2.876 mL_N para o E7, e 3.666 mL_N para o E8, a produção total específica de biogás descontando o produzido pelo inóculo foi 2.589 mL_N.gSV⁻¹, 2.662 mL_N.gSV⁻¹, 1.887 mL_N.gSV⁻¹ e 2.697 mL_N.gSV⁻¹ respectivamente, possuindo uma média de 2.459 mL_N.gSV⁻¹. A média dos eudiômetros E5 e E6 que apresentaram uma semelhança na forma da curva e produção total específica foi de 3.594 mL_N.gSV⁻¹.

Tápparo et al. (2016) avaliaram o potencial que a carcaça de suíno triturada (4 mm) possui de produzir biogás durante um período de 25 dias, utilizando o experimento com eudiômetro, e obtiveram um montante de 1.194 mL_N.gSV⁻¹, concluiu ainda que os testes demonstraram favorável degradação e produção de biogás da carcaça.

Jiménez et al. (2014), utilizando esterco bovino e palha como substrato, obtiveram uma produção acumulada de biogás durante 23 dias a 35°C de 1.230 mL_N.gSV⁻¹, devido a utilização da palha no substrato, a produção de biogás iniciou a fase acentuada na taxa de produção do biogás após o décimo dia de experimento.

De maneira geral, considerando as quatro curvas, o erro entre as quatro curvas apresentou variação de até 300 mL_N conforme pode ser visto no Gráfico 6.

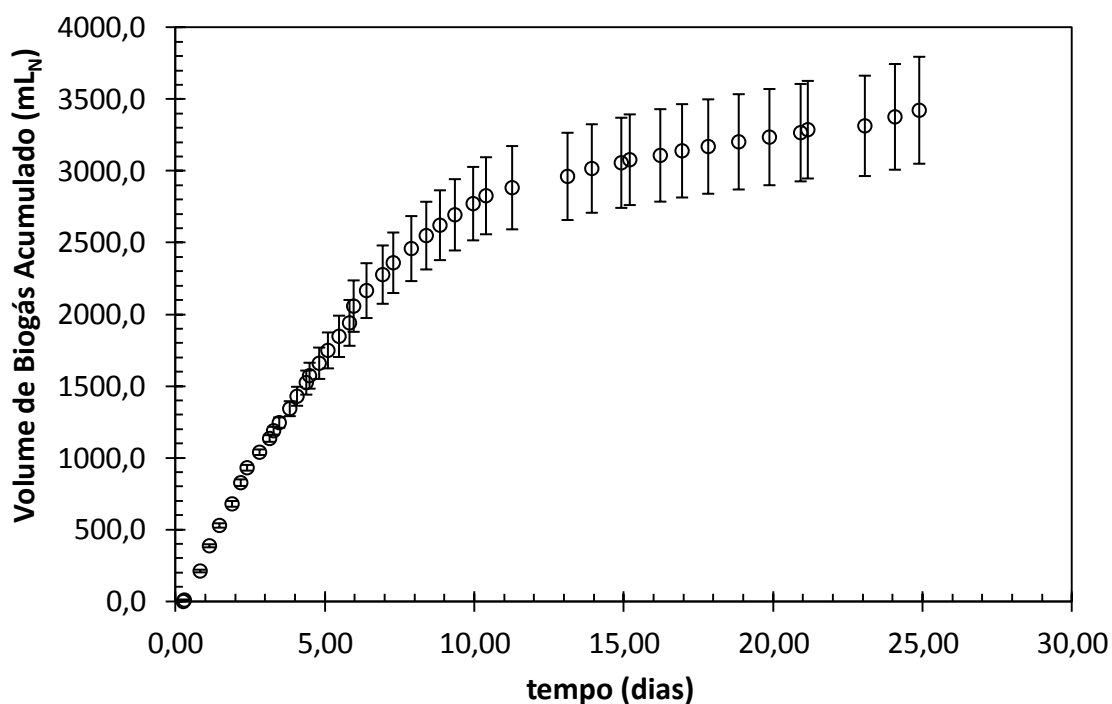


Gráfico 6 - Desvio padrão do volume acumulado nos eudiômetros E5, E6, E7 e E8 contendo o substrato.

Considerando os E5 e E6 como duas amostragens significativas devido a semelhança na forma e produção acumulada de biogás, pode-se dizer que as curvas que discrepam aumentando os desvios foram E7 e E8. Outro fato que deve ser observado é o aumento gradativo do erro da fase inicial até a fase final, fato este que pode ser explicado pela particularidade que cada sistema possui.

Para determinar o tempo de detenção hidráulica e a taxa de maior produção do biogás foi calculada a derivada do volume em função do tempo, o resultado obtido está apresentado no Gráfico 7 contendo as curvas dos quatro eudiômetros contendo o substrato.

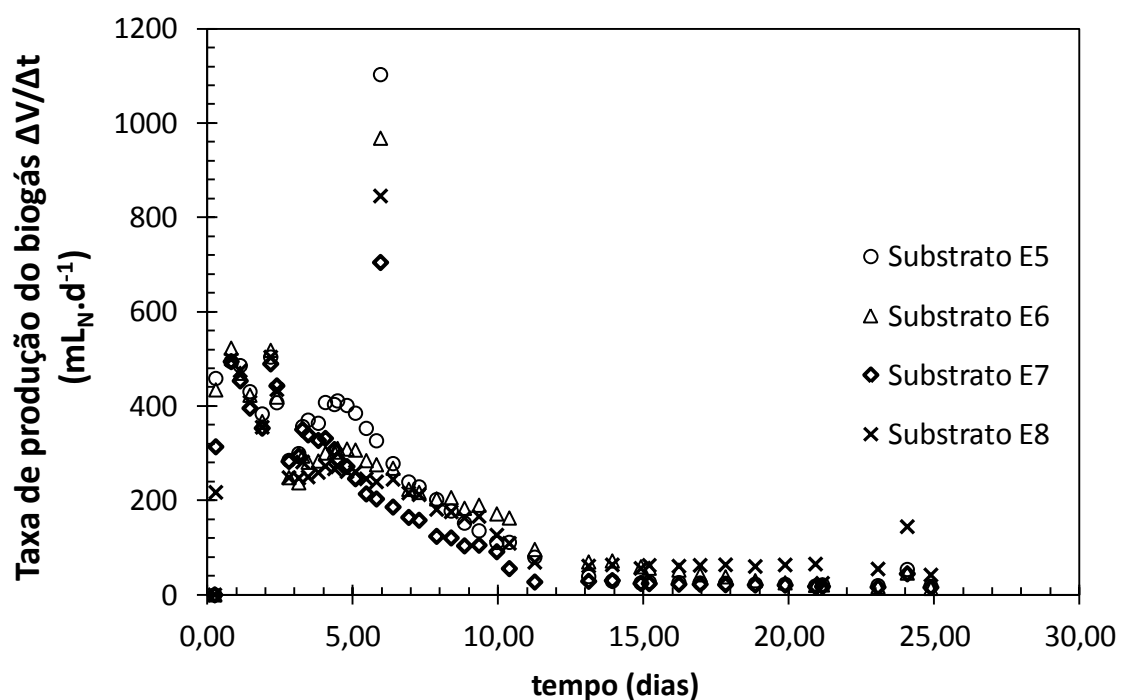


Gráfico 7 - Taxa de produção de biogás dos quatro eudiômetros contendo o substrato

Pode-se observar que no sexto dia do experimento, os quatro eudiômetros apresentaram maior taxa de produção de biogás, comprovado pelos quatro pontos de discrepância dos demais. Os quatro eudiômetros obtiveram uma estabilização na taxa de produção de biogás a partir do décimo segundo dia, pode-se dizer que o tempo de detenção hidráulica ideal é de 12 dias, a partir deste, o substrato começa a se estabilizar e a produção total de biogás aproxima-se de 1% da produção diária, conforme estabelecido pela norma VDI 4630 (2006).

5.4 COMPOSIÇÃO DO BIOGÁS DO EXPERIMENTO

5.4.1 Composição do biogás para os eudiômetros contendo inóculo

As análises de cromatografia revelaram resultados satisfatórios para os diferentes tipos de gases, sendo o gás metano o de maior proporção em volume resultante do catabolismo anaeróbico para a celulose microcristalina e substrato.

A Tabela 15 e Figura 4 apresentam os resultados para os eudiômetros contendo apenas o inóculo (E1 e E2) como prova em branco. As análises foram realizadas em dois períodos diferentes, com diferença de 10 dias entre elas.

Tabela 15 - Composição do biogás dos eudiômetros E1 e E2 contendo inóculo, analisado em dois períodos diferentes.

Parâmetro analisado	Porcentagem dos gases para os eudiômetros em experimento			
	E1	CV(%)	E2	CV(%)
Análises com 15 dias corridos do experimento				
N ₂ – O ₂	9,71%	2,75	8,10%	7,24
CH ₄	39,59%	2,11	44,71%	0,43
CO ₂	16,68%	2,24	18,29%	3
H ₂ S	0,03%	2,6	0,0002%	3,09
H ₂ O	2,67%	1,49	3,37%	4,64
NI	31,32%	-	25,52%	-
Análises com 25 dias corridos do experimento				
N ₂ – O ₂	15,18%	1,96	13,18%	0,15
CH ₄	26,95%	3,24	31,94%	0,003
CO ₂	16,34%	3,69	18,82%	0,33
H ₂ S	0,00%	1,61	0,00%	4,07
H ₂ O	8,48%	1,23	7,88%	8,19
NI	33,05%	-	28,18%	-

Notas:

(E) Eudiômetro

(CV) Coeficiente de variação

(NI) Gases não identificados

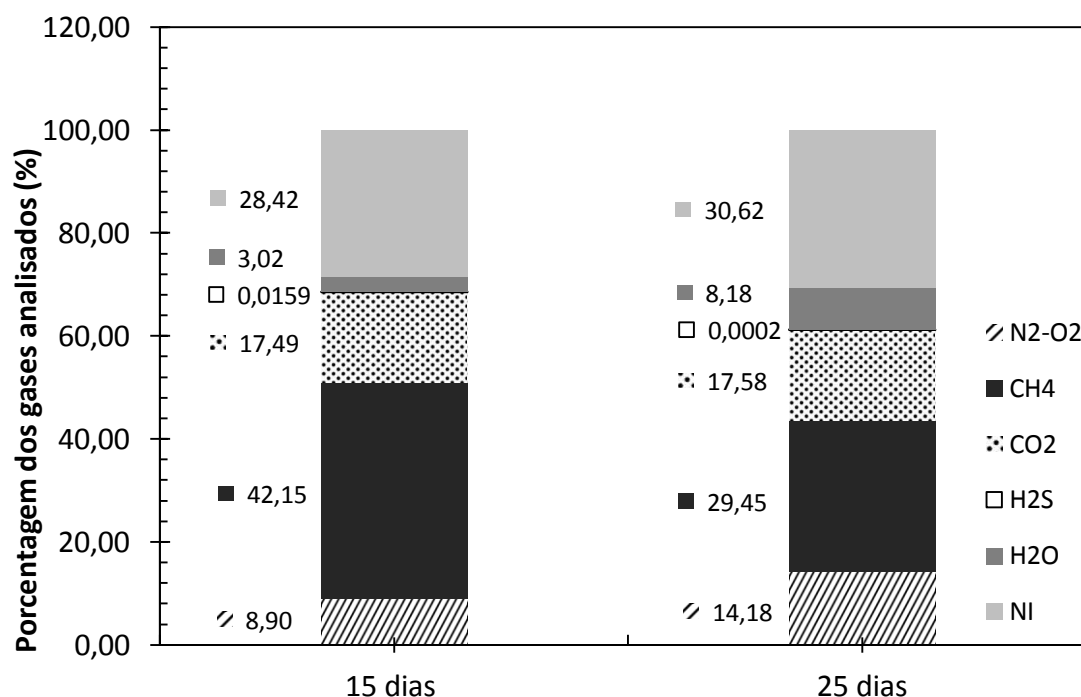


Figura 4 – Média da Porcentagem de gases dos eudiômetros E1 e E2 contendo inóculo, em dois períodos de análises.

Todas as análises apresentaram coeficiente de variação inferior a 10%, comprovando a repetibilidade dos resultados.

Pode-se observar que para ambos os períodos analisados, o metano (CH_4) apresentou com maior porcentagem em volume atingindo uma média de 35,79%. O dióxido de carbono apresentou proporções superiores ao restante dos parâmetros, atingindo uma média de 17,53% em volume do biogás, seguido pela média produzida de 11,54% para os gases nitrogênio e oxigênio, considerável produção de água atingindo uma média de 5,6%. Já para o parâmetro do gás sulfídrico (H_2S), foi observado na análise de 15 dias corridos uma média de 0,0015% em volume de biogás, ou seja, 15,1 ppm, porém não foi observado a presença deste gás no outro período de análise de 25 dias corridos.

Segundo Chernicharo (1997) a presença do gás sulfídrico provoca alteração nas rotas metabólicas em virtude de uma competição por substrato que se estabelece entre as bactérias sulforedutoras e as bactérias fermentativas, acetogênicas e metanogênicas. Na prática, elevadas relações de $\text{DQO}/\text{SO}_4^{2-}$, grande parte do H_2S será removido da fase líquida em função de uma maior produção de biogás, diminuindo seu efeito inibidor na fase líquida.

Pode-se dizer que houve uma redução das bactérias sulforedutoras de SO_4^{-2} após o décimo quinto dia de experimento, elevando a relação $\text{DQO}/\text{SO}_4^{-2}$, e ao vigésimo quinto dia, não foi constatado a presença do H_2S .

5.4.2 Composição do biogás para os eudiômetros contendo a celulose microcristalina

A composição do biogás para os eudiômetros E3 e E4 contendo a celulose microcristalina como padrão, juntamente com uma parcela de inóculo, revelou valores que está apresentado na Tabela 16 seguido pela Figura 5.

Tabela 16 - Composição do biogás dos eudiômetros E3 e E4 contendo a celulose microcristalina, analisado em dois períodos diferentes.

Parâmetro analisado	Porcentagem dos gases para os eudiômetros em experimento			
	E3	CV(%)	E4	CV(%)
Análises com 15 dias corridos do experimento				
$\text{N}_2 - \text{O}_2$	5,87%	5,71	4,67%	5,04
CH_4	41,42%	6,84	41,09%	8,78
CO_2	35,07%	6,21	35,02%	5,81
H_2S	0,00%	1,19	0,00%	5,68
H_2O	2,43%	2,25	2,78%	5,34
NI	15,21%	-	16,44	-
Análises com 25 dias corridos do experimento				
$\text{N}_2 - \text{O}_2$	14,39%	0,63	9,48%	0,79
CH_4	21,73%	0,3	37,83%	0,06
CO_2	23,02%	0,2	26,33%	0,07
H_2S	0,00%	3,4	0,00%	7,52
H_2O	8,31%	5,23	8,63%	7,9
NI	32,55%	-	17,73%	-

Notas:

(E) Eudiômetro

(CV) Coeficiente de variação

(NI) Gases não identificados

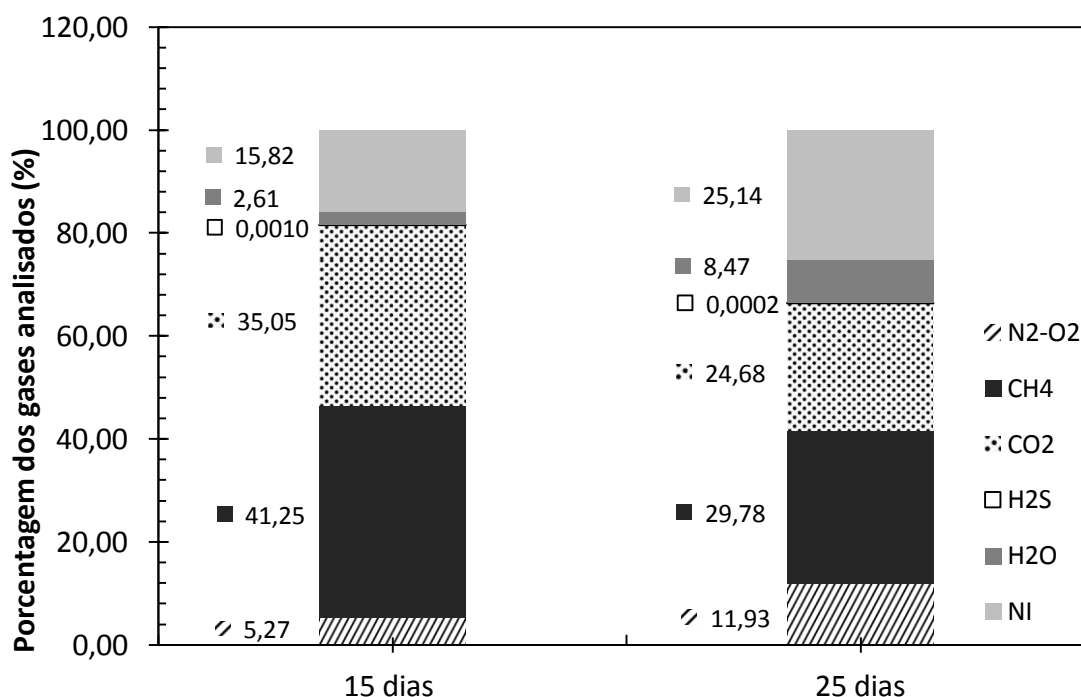


Figura 5 – Média da Porcentagem de gases dos eudiômetros E3 e E4 contendo celulose, em dois períodos de análises.

Pode-se observar que para ambos os períodos analisados, o metano (CH_4) apresentou com maior porcentagem em volume na maioria das análises atingindo uma média de 35,51%, semelhante ao produzido nos E1 e E2 (35,79%), exceto no E3 no vigésimo quinto dia de experimento, que apresentou uma porcentagem inferior ao do CO_2 . Ao vigésimo quinto dia de experimento, houve uma redução drástica do metano para o E3 em até 2x, mas para o E4, a redução foi pequena.

O dióxido de carbono apresentou proporções superiores ao restante dos parâmetros, atingindo uma média de 29,85% em volume do biogás, havendo uma diminuição do décimo quinto dia de experimento para o vigésimo quinto dia. Para os gases nitrogênio e oxigênio, a porcentagem em volume após o décimo quinto dia dobrou, a média produzida foi de 11,54%

Já para o parâmetro do gás sulfídrico (H_2S), não foi observado a presença deste gás no sistema. O que comprova a sobreposição das bactérias fermentativas, acetogênicas e metanogênicas das bactérias sulforetadoras de SO_4^{-2}

5.4.3 Composição do biogás para os eudiômetros contendo substrato

Para os resultados das análises da composição dos gases presente no substrato, estão apresentados na Tabela 17 e Figura 6 os resultados para os quatro eudiômetros E5, E6, E7 e E8 em análise.

Tabela 17 - Composição do biogás dos eudiômetros E5, E6, E7 e E8 contendo o substrato, analisado em dois períodos diferentes.

Parâmetro avaliado	Porcentagem dos gases para os eudiômetros em experimento							
	Substrato 05	CV(%)	Substrato 06	CV(%)	Substrato 07	CV(%)	Substrato 08	CV(%)
Análises com 15 dias de experimento								
N ₂ – O ₂	4,88 %	4,04	4,41 %	2,84	10,92 %	6,07	2,41 %	6,76
CH ₄	62,61 %	7,78	64,17 %	6,73	60,86 %	0,69	66,16 %	0,62
CO ₂	20,08 %	7,81	20,24 %	6,11	20,92 %	0,77	21,77 %	0,53
H ₂ S	0,0018 %	3,68	0,0017 %	9,68	0,0002 %	1,15	0,0017 %	6,14
H ₂ O	5,27 %	2,34	5,90 %	2,00	5,25 %	1,37	4,97 %	7,55
NI	7,16%	-	5,28%	-	2,05%	-	4,69%	-
Análises com 25 dias de experimento								
N ₂ – O ₂	7,23 %	0,51	7,72 %	1,43	12,17 %	0,99	3,45 %	0,52
CH ₄	53,47 %	1,91	51,97 %	0,32	35,82 %	0,27	67,52 %	0,71
CO ₂	17,28 %	1,80	16,64 %	0,36	15,25 %	0,08	17,79 %	0,67
H ₂ S	0,000 %	4,92	0,0004 %	4,60	0,0002 %	9,27	0,0011 %	3,23
H ₂ O	4,23 %	2,66	12,40 %	1,05	14,42 %	1,80	7,28 %	7,29
NI	17,79%	-	11,26%	-	22,34	-	3,95	-

Notas:

(CV) Coeficiente de variação

(NI) Gases não identificados

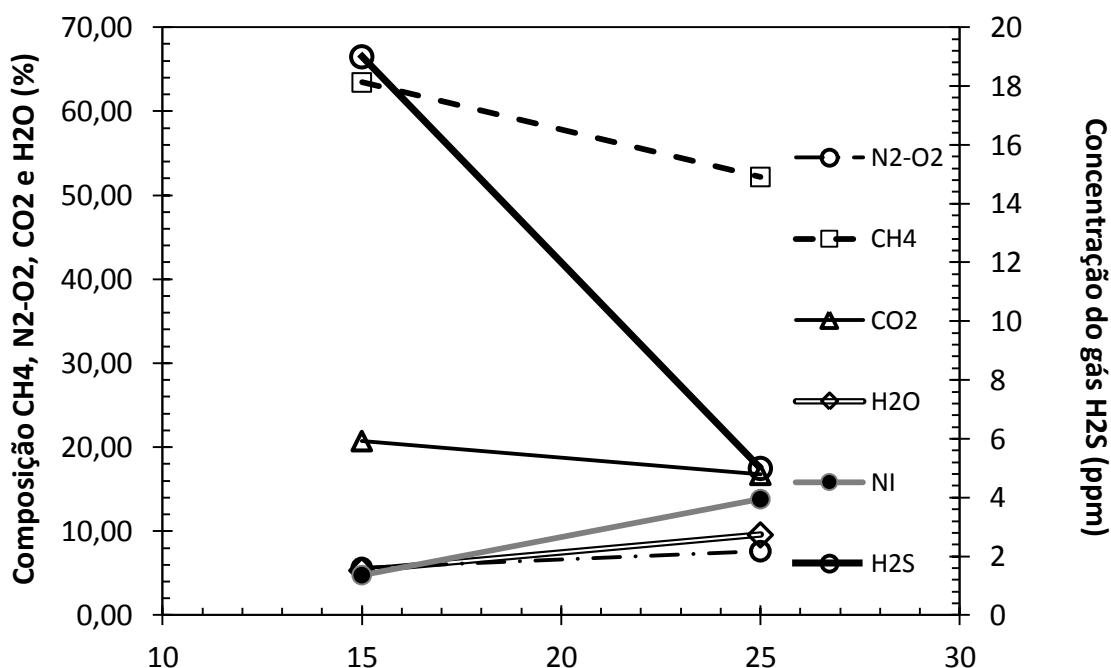


Figura 6 - Média da Porcentagem de gases dos eudiômetros E5, E6, E7 e E8 contendo o substrato, em dois períodos diferentes de análises.

Pode-se observar que os parâmetros CO₂, H₂S e CH₄ sofreram uma redução passando do primeiro para o segundo período, correspondente a um total de dez dias. O parâmetro que sofreu maior redução foi o H₂S, reduzindo de 18,8 ppm para 4,7 ppm. Sendo o H₂S, um parâmetro que pode causar toxicidade no sistema se não controlado, afetando diretamente as bactérias metanogênicas (CHERNICHARO, 1997). Já para os parâmetros H₂O e N₂-O₂, houve um leve aumento na porcentagem em volume passando do primeiro para o segundo período.

Os gases nitrogênio e oxigênio com uma média de 6,65% possuíam pouca variação entre os E5 e E6, e uma maior discrepância para os E7 e E8. Este aumento pode estar relacionado com a manutenção da fase da acetogênese responsável pela oxidação dos produtos gerados na fase acidogênica, gerando assim o gás hidrogênio.

O parâmetro que apresentou maior percentual em volume foi o gás metano atingindo uma média de 57,82%, dentre os eudiômetros analisados, o E7 apresentou discrepância no resultado do metano, levando consigo a queda na média deste parâmetro. Chernicharo (1997) relaciona a produção de metano com o consumo de CO₂, esta produção refere-se às bactérias hidrogenotróficas que utilizam um limitado número de substrato, compreendendo o dióxido de carbono

como um destes substratos. Atrelado a este conceito, o dióxido de carbono possuindo uma média de 18,75%, sofreu redução do primeiro para o segundo período de análise, de 20,75% para 16,74%, com esta diminuição, desfavorece a conversão à metano pelas bactérias metanogênicas.

Outro parâmetro que apresentou um leve aumento do primeiro para o segundo período foi a água. Na primeira análise realizada 15 dias corridos do experimento, a quantidade média em volume no biogás para os quatro eudiômetros foi de 7,47%, possuindo mínima variabilidade dos dados, já para a segunda análise para 25 dias corridos do experimento, a média atingida foi de 9,58%, porém os E5 e E8 apresentaram um resultado aproximadamente duas vezes menor que os E6 e E7.

6 CONCLUSÕES

O inóculo utilizado no experimento foi eficaz apresentando dados satisfatórios da produção de biogás da celulose microcristalina em 90% da produção estabelecida pela norma VDI 4630, validando assim a eficiência do inóculo.

O substrato apresentou elevada biodegradação e produção de biogás para o tempo de detenção hidráulica de 25 dias, uma média de 3.433 mL_N.

A taxa de produção do biogás máxima observada ocorreu no sexto dia de experimento, e o tempo de detenção hidráulica ideal antes de iniciar a estabilização do sistema foi de 12 dias.

A composição do biogás do substrato apresentou uma maior parcela do gás metano, cerca de 57,82% em volume, já os outros parâmetros, os gases N₂-O₂ apresentou 6,65%, o CO₂ 18,75%, o H₂S 11,75 ppm e 7,47 % para a H₂O.

O pH da amostra, tanto no início do experimento quanto depois, apresentou valores superiores a 8, favorecendo a diminuição da produção do gás metano, porém, é uma condição favorável para que os ácidos graxos voláteis, composto tóxico para as bactérias metanogênicas estejam estáveis.

Em se tratando da relação carbono:nitrogênio, a relação encontrada foi de 10,5:1, sugere-se que este tipo de substrato utilizado seja corrigido com resíduos vegetais para atingir o ponto ideal entre 20 a 30:1.

A remoção da DQO foi satisfatória atingindo uma eficiência de 90%, a remoção específica da DQO do metano e biogás gerados foram de 1.084,34 mLCH₄.gDQO⁻¹_{removida} e 1.902,3 mLbiogás.gDQO⁻¹_{removida} respectivamente.

A partir dos resultados obtidos, pode-se produzir biogás a partir de resíduos de tilápia para as seguintes condições operacionais de um biodigestor: tempo de retenção hidráulica de 25 dias; resíduos de tilápia com fração de sólidos voláteis de 35%; 40 g de substrato por litro de mistura; temperatura de operação de 40°C; um inóculo com composição de 50% de dejetos bovinos, 50% de dejetos suínos; produção de biogás de 17,16 L por litro de mistura com uma fração de metano de 57%.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Camila. Exame. **8 Dicas para aumentar suas vendas**. São Paulo, v. 1, julh 2011. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/pme/8-dicas-para-aumentar-suas-vendas/>. Acesso em 05 nov. 2016.

APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, AWWA; WATER ENVIROMENT FEDERATION – WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22nd Edition (2012).

ARRUDA, Lia F. **Aproveitamento do resíduo do beneficiamento da Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*) para obtenção de silagem e óleo como subprodutos**. 2004. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10004: **Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

BILOTTA, Patrícia; ZANICOTTI, Bárbara L. R. Estimativa de geração de energia e emissão evitada de gás de efeito estufa na recuperação de biogás produzido em estação de tratamento de esgotos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. Rio de Janeiro, vol. 21, n.2, p. 5, Jun. 2016.

BRAUN, Rudolf. **Biogas - methangärung organischer abfallstoffe**. Springer Verlag Viena, Nova Iorque, 1982.

BOSCOLO, Wilson Rogério et al. Avaliação microbiológica e bromatológica da silagem ácida obtida de resíduos da indústria de filetagem de tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **SEMINA: CIÊNCIAS AGRÁRIAS**, v.31, n.2, p. 519, 2010.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005**. Brasília, 2005. 23 p.

BRASIL. Instrução Normativa nº 29, de 23 de setembro de 2015. **Diário Oficial da Nação**. Poder Executivo, Brasília, 2015.

BRASIL, Lei nº. 9.433, de 8 de janeiro de 1997. **Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos**. Presidência da República – Casa Civil. DOU, de 09/01/1997.

CALDEREIRO, Gisele M.B. **Caracterização da digestão de resíduos agroindustriais em biodigestor de fluxo contínuo operado em escala real.** Dissertação (Mestrado em tecnologias ambientais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira: 2015.

CHERNICHARO, Carlos A. L. **Reatores anaeróbicos.** Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. v. 5. Belo Horizonte: Copyright, 1997

Chernicharo, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbicos.** Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias, v.5, 2.ed. Belo Horizonte: DESA, UFMG, 2007.

COMASTRI FILHO, José Anibal. **BIOGÁS, A. Independência Energética do Pantanal Mato-grossense.** Circular técnica, n. 9, 1981.

EMBRAPA. **Pesca e Aquicultura.** Disponível em <<https://www.embrapa.br/tema-pesca-e-aquicultura/nota-tecnica>>. Acesso em: 15 Out. 2016.

FORESTI, et al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** Fundamentos do tratamento anaeróbio. PROSAB, Rio de Janeiro, p. 29-51, 1999.

GARCEZ, Lucas Nogueira. **Manual de procedimentos e técnicas laboratoriais voltado para análises de águas e esgotos sanitário e industrial.** Escola politécnica da Universidade de São Paulo: p. 17, 2004.

GRANATO, Eder F. **Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça.** 2003, Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Faculdade de Engenharia da UNESP, 2003.

HERNÁNDEZ, Jiménez Janet et al. **Caracterización microbiológica y molecular de la comunidad anaerobia durante la co-fermentación de residuos agropecuarios con adición de minerales arcillosos para la obtención de metano.** Revista CENIC Ciencias Biológicas, v. 45, n. 1, p. 37-44, 2014.

KUBITZA, Fernando. **Tilápia: tecnologia e planejamento na produção comercial.** Ed. do Autor, 2000.

KUMMER, Ana C. B.; ANDRADE, Lidiana; GOMES, Simone d.; FAZOLO, Ajadir; HASAN, Salah D. M.; MACHADO, Fabiano. Tratamento de efluente de abatedouro de tilápia com adição de manipueira na fase anóxica. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.150-157, 2011.

ISO 11734. Evaluation of “ultimate” anaerobic biodegradability of organic compounds in digested sludge – Method by measurement of the biogas production. **International Organization for Standardization**, 1995. 14 p.

LETTINGA, Gatzke F. **Introduction in: International course on anaerobic treatment**. Wageningen Agricultural University. Wageningen, 1995.

LEITE, Valderi D.; et al. Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos com alta e baixa concentração de sólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 2, p. 194, 2009.

MADIGAN, Michael T.; MARTINKO, Jhon M.; BENDER, Kelly S.; BUCKLEY, Daniel H.; STAHL, David H. **Microbiologia de Brock**. Ed. 14. Porto Alegre: Artmed, 2016.

MACEDO-VIEGAS, Elisabete Maria et al. Efeito das classes de peso sobre a composição corporal e o rendimento de processamento de matrinxã (*Brycon cephalus*). **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 22, n. 1, p. 725-728, 2000.

MIRANDA, Adélia P. **Suínos em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade e efeitos na biodigestão anaeróbia**. 2009. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, 2009.

MARGANO, Marcelo Antonio; et al. Mercúrio total em pescado da cadeia produtiva da Baixada Santista, estado de São Paulo, Brasil. **Rev Inst Adolfo Lutz**. Campinas, p. 167, julh. 2007.

NOGUEIRA; AUGUSTO. **Biodigestão: Alternativa energética**. 1. ed. SP: Nobel, 1986.

OGAWA, Masayoshi; MAIA, Everaldo L. **Manual de pesca: Ciência e tecnologia do pescado**. v. 1. São Paulo (SP). Varela, 1999.

ORRICO, Marco A. J.; ORRICO, Ana C. A.; LUCAS, Jorge J.; SAMPAIO, Alexandre A. M.; OLIVEIRA, Emanuel A. Biodigestão anaeróbia dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**. R. Bras. Zootec., v.41, n.6, p.1533-1538, 2012

OLIVEIRA, Paulo A.V; HIGARASHI, Martha M.H. Geração e utilização de biogás em unidades de produção de suínos. Concórdia, SC: **Embrapa Suínos e Aves**, 2006. p. 42.

PECORA, Vanessa. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP**. Dissertação (mestre em energia do programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEREIRA, Erlon Lopes; CAMPOS, Cláudio M. M.; MOTERANI, Fabrício. **Efeitos do pH, acidez e alcalinidade na microbiota de um reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) tratando efluentes de suinocultura**. Revista Ambiente & Água-An Interdisciplinary Journal of Applied Science: v, v. 4, n. 3, 2009.

PINHEIRO, L. M. S.; MARTINS, R. T.; PINHEIRO, L. A. S.; PINHEIRO, L. E. L. Rendimento industrial de filetagem da tilápia tailandesa (*Oreochromis spp.*). **Arq. Bras. Med**, v. 58, n. 2, p. 258, 2006.

PRADO, Marco Antônio Calil; CAMPOS, Cláudio Milton Montenegro; SILVA, Julia Ferreira da Silva. Estudo da variação da concentração de metano no biogás produzido a partir das águas residuárias do café. **Ciência e Agrotecnologia** vol.34 no.2 Lavras-MG, 2010.

ROCHA, Carlos M. G.; RESENDE, Emiko K.; ROUNTLEDGE, Arthur B.; LUNDSTEDT, Lícia M. Avanços na pesquisa e no desenvolvimento da aquicultura brasileira. **Pesquisa agropecuária brasileira**, v. 48, n. 8, 2013.

SANTA, Julián S., CARVAJAL, Sebastián R. **Caracterización técnica de la implementación de un biodigestor en el tratamiento de estiércol de truchas**. 1 ed. Faculdade de Ciências Pecuárias, Programa de Zootecnia, Santa Rosa de Cabal, Colômbia: 2015

SANTOS, Jakline B. **Metodologia para determinação da produção de biogás**. 2013. TCC (Tecnologia em Gestão Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

SIDONIO, Luiza et al. Panorama da aquicultura no Brasil: desafios e oportunidades. **BNDES Setorial–Agroindústria**, n. 35, p. 421-463, 2012.

SILVA, Andreza A.; ALBINO, Gabriela A. F. **A biodigestão de resíduos agrossilvopastoris no processo de transformação de energia**. Revista Científica da FEPI, v. 6, n. 1, 2015.

SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS DE ANIMAIS TRATAMENTO DE DEJETOS DE ANIMAIS COSMANN, 1, 2009. **Caracterização do efluente de processamento de pescado e desempenho da lagoa anaeróbia**. COSMANN, N. J.; GOMES, S.D.; ANDRADE, L.; KUMMER, A. C. B., Florianópolis, v. 1, p. 552, 2009.

STAFF, H. **Hidroponia**. 2. ed. Cuiabá: Sebrae/MT, 1998. 86 p.

SOUZA, Eduardo Galdino. **Geração de biodiesel e biogás a partir dos resíduos do processamento de tilápia do Nilo**. 2014. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, 2014.

SOUTHE, Geovan C. **Aproveitamento da massa visceral da Tilápia (*Oreochromis niloticus*) para a produção de biogás**. 2014. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

SOUZA, Maria L. R. Comparação de seis métodos de filetagem, em relação ao rendimento de filé e de subprodutos do processamento da tilápia-do-Nilo (*Oreochromis niloticus*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 31, n. 3, p. 1077, 2002.

SOUZA, Maria Luiza Rodrigues; MARENGONI, Nilton Garcia; PINTO, Adriana Aparecida; CAÇADOR, Walangiery da Costa. Rendimento do processamento da Tilápia (*Oreochromis niloticus*): tipos de corte da cabeça em duas categorias de peso. **Acta Scientiarum**, p. 703, 2000.

SOUZA, Maria L. R.; MARENGONI, Nilton G.; PINTO, Adriana A.; CAÇADOR, Walangiery C. Rendimento do processamento da tilápia-do-nilo (*Oreochromis niloticus*): tipos de corte da cabeça em duas categorias de peso. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v. 22, p. 702, 2008.

SOUZA, Milena A. **Eficiência do processo de ultrafiltração seguido de biodigestão anaeróbia no tratamento de efluente de frigorífico de tilápia**. 2010. Tese (Doutorado em aquicultura) – Universidade Estadual Paulista, Centro de Aquicultura da UNESP. 2010.

SOUZA, Samuel N. M.; PEREIRA, Willian C.; PAVAN, André A. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural**, Campinas (SP). 2004.

TSAGARAKIS, K.P. **Optimal number of energy generators for biogas utilization in wastewater treatment facility**. Energy Conversion and Management, v. 38, p. 2694-2698. (2007).

VDI 4630. Fermentation of organic materials - **Characterisation of the substrate, sampling**. Collection of material data and fermentation tests. Verein Deutscher Ingenieure (Germany Association of Engineers), 2006 96 p.

XLV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA. **Determinação da capacidade de produção de biogás a partir da digestão de carcaça suína e sua codigestão com dejetos suínos**. TÁPPARO1, Deisi et al. Florianópolis-SC, 2016.