

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CURSO DE ENGENHARIA DE ENERGIA

JOELMO SCHUEROFF

**ANÁLISE DO EFLUENTE DE SISTEMA DE BIOFLOCOS DA  
PRODUÇÃO DE CAMARÃO PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS**

ARARANGUÁ

2019

JOELMO SCHUEROFF

**ANÁLISE DO EFLUENTE DE SISTEMA DE BIOFLOCOS DA  
PRODUÇÃO DE CAMARÃO PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS**

Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia de Energia na Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Araranguá.

Orientador: Dr. Claus Tröger Pich

ARARANGUÁ

2019

JOELMO SCHUEROFF

**ANÁLISE DO EFLUENTE DE SISTEMA DE BIOFLOCOS DA  
PRODUÇÃO DE CAMARÃO PARA GERAÇÃO DE BIOGÁS**

Trabalho apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II do curso de Engenharia de Energia na Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Araranguá.

Aprovado em: 02/04/2019

Banca Examinadora:

  
Prof. Dr. Claus Tröger Pich (orientador)  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Profa. Dra. Elaine Virmond  
Universidade Federal de Santa Catarina

  
Prof. Dr. Reginaldo Geremias  
Universidade Federal de Santa Catarina

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por sempre estar ao meu lado, dando-me força nos momentos fáceis e difíceis, fazendo com que eu alcance os meus sonhos.

Aos meus pais e familiares, minha esposa e amigos, que em muitos casos ficaram em segundo plano, devido ao tempo investido na realização do presente trabalho. Peço aos mesmos minhas sinceras desculpas, e ficarei muito grato pelo entendimento.

Prof. Dr. Claus Tröger Pich (orientador), pela disponibilidade e atenção para a realização do presente trabalho, contribuindo, dando orientações e ensinando. Meu muito obrigado!

Ao Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) por disponibilizar o efluente para que fosse possível a realização deste trabalho de conclusão de curso.

Ao Técnica Sem Fronteira (TSF) por disponibilizar do equipamento da Alfakit biogás para que fosse possível suceder as análises do biogás.

E a UFSC por proporcionar livros e artigos digitais para a proceder o presente trabalho.

## RESUMO

A carcinicultura por ser uma atividade em expansão, devido à grande aceitação do pescado como fonte de proteína animal. Com esse crescimento busca-se tecnologias para atender a demanda, onde são desenvolvidos os sistemas fechados sem renovação de água, como o sistema de bioflocos. Por tratar de um sistema fechado necessita de uso de decantador para a remover os sólidos suspensos. Os efluentes gerados por esse sistema de cultivo são usualmente encaminhados para aterros ou incinerados, mas há possibilidade de geração de biogás, utilizando-se desses como matéria-prima. O presente trabalho visou avaliar o potencial de produção de biogás através da utilização desse efluente *in natura* (não processado) e processado. Para tanto, biodigestores de escala laboratorial foram idealizados, construídos e ensaios da biodigestão conduzidos em condições ambientais. Em suma, mesmo na presença de um inibidor (íon sódio) os ensaios apresentaram resultados muito além do esperado, atingindo concentrações medias de metano para o efluente processado e *in natura* na ordem de 69,33% e 64,67%, respectivamente. Por outro lado, conclui-se que a presença do inibidor nos biodigestores *in natura* dificultou a produção e a velocidade do biogás.

**Palavras-chaves:** Carcinicultura. Efluente. Bioflocos. Biodigestor. Biogás.

## ABSTRACT

Shrimp farming is an expanding activity due to the great acceptance of fish as a source of animal protein. With this growth we are looking for technologies to meet the demand, where closed systems without water renewal, such as the biofloc system, are developed. Because it is a closed system, it needs the use of a decanter to remove the suspended solids. The effluents generated by this cultivation system are usually sent to landfills or incinerated, but there is possibility of biogas generation, using these as raw material. The present work aimed to evaluate the biogas production potential through the use of this raw (unprocessed) and processed effluent. For this purpose, laboratory-scale biodigesters were designed, constructed and biodigestion tests conducted under environmental conditions. In addition, even in the presence of an inhibitor (sodium ion), the tests presented results that were much higher than expected, reaching mean concentrations of methane for the processed and in nature effluent in the order of 69.33% and 64.67%, respectively. On the other hand, it was concluded that the presence of the inhibitor in the in nature biodigestors made the biogas production and velocity difficult.

**Keywords:** Shrimp farming. Effluent. Bioflocs. Biodigestors. Biogas.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> – Cultivo de camarões em sistema de bioblocos.....	14
<b>Figura 2</b> – Biodigestor modelo chinês.....	16
<b>Figura 3</b> – Biodigestor modelo indiano.....	17
<b>Figura 4</b> – Biodigestor modelo tubular.....	18
<b>Figura 5</b> – Biodigestor modelo batelada.....	19
<b>Figura 6</b> – Processo para a formação do biogás.....	20
<b>Figura 7</b> – Localização do Laboratório de Camarões Marinhos – LCM/UFSC.....	24
<b>Figura 8</b> – Adaptação das tampas dos galões.....	25
<b>Figura 9</b> – Dessalinização do efluente do sistema de bioflocos.....	26
<b>Figura 10</b> – Biodigestores de efluente processado (A) e <i>in natura</i> (B).....	26
<b>Figura 11</b> – Kit de análise portátil da Alfakit biogás.....	28
<b>Figura 12</b> – Cadernetas para análise colorimétrica.....	29
<b>Figura 13</b> – Suporte de análise do CO <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> .....	30
<b>Figura 14</b> – Análise colorimétrica do gás sulfídrico utilizando 1 mL de biogás.....	33

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b> - Características do lodo gerado pelo cultivo de <i>L. vannamei</i> em sistemas de BFT.....	15
<b>Tabela 2</b> - Variação da concentração do biogás.....	21
<b>Tabela 3</b> - Variação do poder calorífico inferior do biogás.....	21
<b>Tabela 4</b> - Influência de certos elementos na biodigestão.....	22



## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> - Variação da média da amônia nos biodigestores estudados.....	32
<b>Gráfico 2</b> - Composição do biogás gerado nos biodigestores processado e <i>in natura</i> .....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BFT - Bioflocos

C - Carbono

CH<sub>4</sub> - Metano

CO<sub>2</sub> - Dióxido de carbono

C:N - Carbono:Nitrogênio

DBO - Demanda bioquímica de oxigênio

H<sub>2</sub> - Hidrogênio

H<sub>2</sub>S - Sulfeto de hidrogênio

LCM - Laboratório de Camarões Marinhos

N<sub>2</sub> - Nitrogênio.

UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

SC - Santa Catarina

SST - Sólidos suspensos totais

SSV - Sólidos Suspensos Voláteis

SV - Sólidos Voláteis

TCC - Trabalho de Conclusão de Curso

ZEAH - Zero Exchange Aerated Heterotrophic culture system

## LISTA DE SÍMBOLOS

% - porcentagem  
°C - grau Celsius  
Ca<sup>+</sup> - íon de cálcio  
cm - centímetro  
g kg<sup>-1</sup> - grama por quilograma  
g L<sup>-1</sup> - grama por litro  
K<sup>+</sup> - íon de potássio  
kcal/m<sup>3</sup> - quilocaloria por metro cúbico  
kg - quilograma  
kWh - quilowatt hora  
m<sup>3</sup> - metro cúbico  
Mg<sup>2+</sup> - íon de magnésio  
mg L<sup>-1</sup> - miligrama por litro  
mL - mililitro  
Na<sup>+</sup> - íon de sódio  
NaCl - cloreto de sódio  
NH<sub>4</sub><sup>+</sup> - íon de amônio  
L - Litro  
pH - potencial Hidrogeniônico  
ppmV - partes por milhão em Volume  
SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> - íon de sulfato

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>13</b>
1.1	CARCINICULTURA .....	13
1.1.1	<b>Sistema de cultivo de camarão marinho em bioflocos</b> .....	<b>13</b>
1.1.2	<b>Caracterização do efluente</b> .....	<b>14</b>
1.2	BODIGESTORES E BIOGIGESTÃO.....	15
1.2.1	<b>Biodigestores</b> .....	<b>15</b>
1.2.2	<b>Biodigestão</b> .....	<b>19</b>
1.3	BIOGÁS .....	20
1.3.1	<b>Poder calorífico</b> .....	<b>21</b>
1.3.2	<b>Uso do biogás</b> .....	<b>21</b>
1.3.3	<b>Inibidores da produção de biogás</b> .....	<b>22</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>23</b>
2.1	OBJETIVO GERAL .....	23
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	23
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b> .....	<b>24</b>
3.1	OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE .....	24
3.2	MONTAGEM DOS BODIGESTORES .....	24
3.3	DIMINUIÇÃO DA CARGA SALINA DO EFLUENTE .....	25
3.4	OPERAÇÃO DOS BODIGESTORES.....	27
3.5	ANÁLISE DO BIOGÁS .....	28
3.6	ANÁLISE ESTATÍSTICA .....	31
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>32</b>
4.1	RESULTADOS DA AMÔNIA .....	32
4.2	RESULTADOS DO GÁS SULFÍDRICO.....	32
4.3	RESULTADOS DE GÁS CARBÔNICO E METANO.....	33
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>36</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>37</b>

## 1 INTRODUÇÃO

### 1.1 CARCINICULTURA

A arte de cultivar organismos aquáticos como peixes, moluscos, crustáceos, plantas aquáticas é denominada de aquicultura (SEIFFERT, 2003). O setor obteve um grande crescimento devido ao incremento do consumo mundial de proteína animal (FRAGA, 2002). Um dos ramos da atividade aquícola é a carcinicultura, que se trata da produção de camarões em cativeiro, cuja a produção tem aumentado (SILVA, 2017).

No mundo foram produzidos quase 4 milhões de toneladas de camarão no ano de 2018, representando um aumento de 3 a 5 por cento em relação 2017(FAO, 2019). O segmento registrou no Brasil em 2018, uma produção de 77 mil toneladas de camarões marinhos cultivados (NASCIMENTO, 2019).

No Brasil diferentes espécies de camarões têm sido criadas em cativeiros para atender à demanda do mercado, sendo os mais cultivados o camarão rosa (*Farfantepenaeus paulensis*) e o camarão branco (*Litopenaeus vannamei*) (PRETO *et al.*, 2005).

Uma tecnologia de criação em cativeiro que vem se destacando na produção dos camarões são os sistemas sem renovação de água conhecidos como sistemas ZEAH (do inglês, *Zero Exchange Aerated Heterotrophic culture system*), que possuem alta produtividade e baixo impacto ambiental (PIÉRRRI, 2012). Além disso, o sistema oferece maior controle de doenças e também uma maior densidade de estocagem (KRUMMENAUER *et al.*, 2012). Piérri (2012) também destaca que o camarão *L. vannamei* obteve uma boa taxa de sobrevivência, e também alta conversão alimentar em sistema de bioflocos (BFT).

#### 1.1.1 Sistema de cultivo de camarão marinho em bioflocos

Os bioflocos são agregados de microrganismos, que utilizam do nitrogênio inorgânico da água e carbono dissolvido para produção de biomassa bacteriana. Esses agregados constituem importante fonte de alimento para os camarões, fazendo com que o consumo de ração seja menor (KRUMMENAUER, 2012).

Eventualmente para manter o sistema em equilíbrio é adicionado uma fonte de carbono (C), essa introdução resulta em um balanço proporção de Carbono:Nitrogênio ideal em torno de 15 a 20:1 para sistemas BFT (SUITA, 2009; KRUMMENAUER *et al.*, 2012).

O sistema BFT, por ser um sistema fechado gera sólidos suspensos que, por sua vez, obstruem as brânquias dos animais cultivados causando perdas na produção. Então se faz necessário, um procedimento de controle para remoção desse material, usualmente são utilizados decantadores acoplados ao tanque de cultivo (BARCELOS, 2016).

A retirada do lodo do tanque de cultivo (esquerda da Figura 1) é realizada por meio de um fluxo de água que passa pelo decantador (direita da Figura 1), no qual fica retido, água presente no mesmo é devolvida de maneira sensível ao tanque de cultivo (MAGNOTTI, 2011).

**Figura 1** – Cultivo de camarões em sistema de bioflocos



Tanque de cultivo à esquerda e decantador à direita.

Fonte: Magnotti (2011).

Barcelos (2016) ressalta que se esse lodo de bioblocos não for tratado de maneira correta pode acarretar danos ao meio ambiente. Portanto, o mesmo deve passar por processos de desidratação e de diminuição de carga orgânica, que pode ser realizado por compostagem, deposição em aterros sanitários ou incineração (BARCELOS, 2016). Outra forma de diminuir a carga orgânica por meio da biodigestão, a qual está atrelada à produção de biogás e do fertilizante orgânico (MELLO, 2017; LEITE; POVINELLI, 1999).

### **1.1.2 Caracterização do efluente**

Segundo Arantes (2014) as principais características do lodo gerado pelo cultivo de *L. vannamei* em sistemas de bioflocos são as apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** - Características do lodo gerado pelo cultivo de *L. vannamei* em sistemas de BFT.

Parâmetro	Faixa	Média
Sulfato (mg L <sup>-1</sup> )	1600,3 – 1701,4	1650,8
DBO (mg L <sup>-1</sup> )	1123,6 – 1778,3	1450,9
SST (mg L <sup>-1</sup> )	10235 – 17139	13687
SSV (% SST)	64 – 71	67,5
Sólidos Totais (g L <sup>-1</sup> )	12,9 – 17,1	15,0
Sólidos Voláteis (g kg <sup>-1</sup> )	626,2 – 714,0	670,1
C:N	6,24 – 7,68	6,96
pH	7,3 – 7,7	7,5

DBO: Demanda Bioquímica de Oxigênio; SST: Sólidos Suspensos Totais; SSV: Sólidos Suspensos Voláteis; C:N: Carbono: Nitrogênio, pH: potencial Hidrogeniônico.

Fonte: Adaptado de Arantes (2014).

O lodo da carcinicultura superintensiva apresenta parâmetros importantes e necessários para a produção de biogás. Sendo que Sólidos Voláteis (SV) de uma biomassa estão fortemente ligados à geração, quanto maior for a concentração maior será a produção de biogás (PEREIRA, 2018). Outros fatores que podem influenciar a formação de biogás são a temperatura e o pH, por afetar o desenvolvimento das bactérias envolvidas na biodigestão (COMASTRI, 1981). Além disso, a relação C:N e a presença de inibidores está relacionada com as condições em que se desenvolve a biodigestão (CORTEZ *et al.*, 2009).

## 1.2 BIODIGESTORES E BIOGIGESTÃO

### 1.2.1 Biodigestores

Os biodigestores constituem-se de uma câmara fechada onde é alocado uma certa quantidade de biomassa aquosa, que por sua vez, sofre um biodigestão por um certo período de tempo, gerando dessa forma o biogás e o fertilizante orgânico (DEGANUTTI, 2001). O produto altamente energético que é

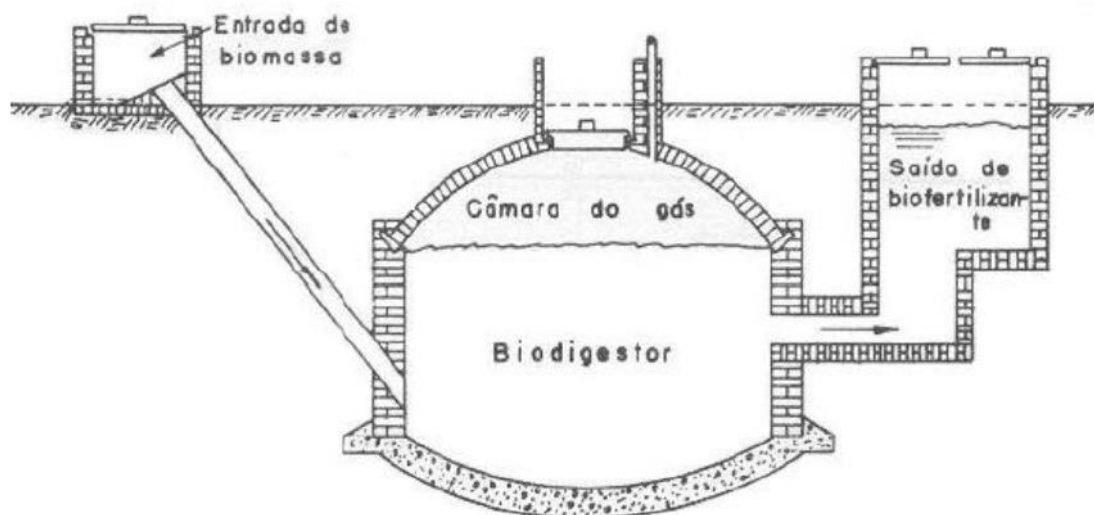
o biogás, o qual geralmente a maior parte da concentração é dada por metano ( $\text{CH}_4$ ) (MELLO, 2017; COMASTRI, 1981).

Os principais modelos de biodigestores utilizados para a produção de biogás no Brasil são os modelos Chinês, Indiano, Canadense e batelada (CÉSAR; SANTOS; CARVALHO, 2016). Geralmente são empregados em propriedades rurais e agroindústrias (MELLO, 2017; CÉSAR; SANTOS; CARVALHO, 2016).

#### 1.2.1.1 Modelo Chinês

É constituído de alvenaria de formato circular onde ocorre a biodigestão, o teto é parabólico e impermeável e é destinado ao armazenamento de biogás (FRIGO *et al.*, 2015; CÉSAR; SANTOS; CARVALHO, 2016).

**Figura 2** - Biodigestor Modelo Chinês.



Fonte: Mello (2017).

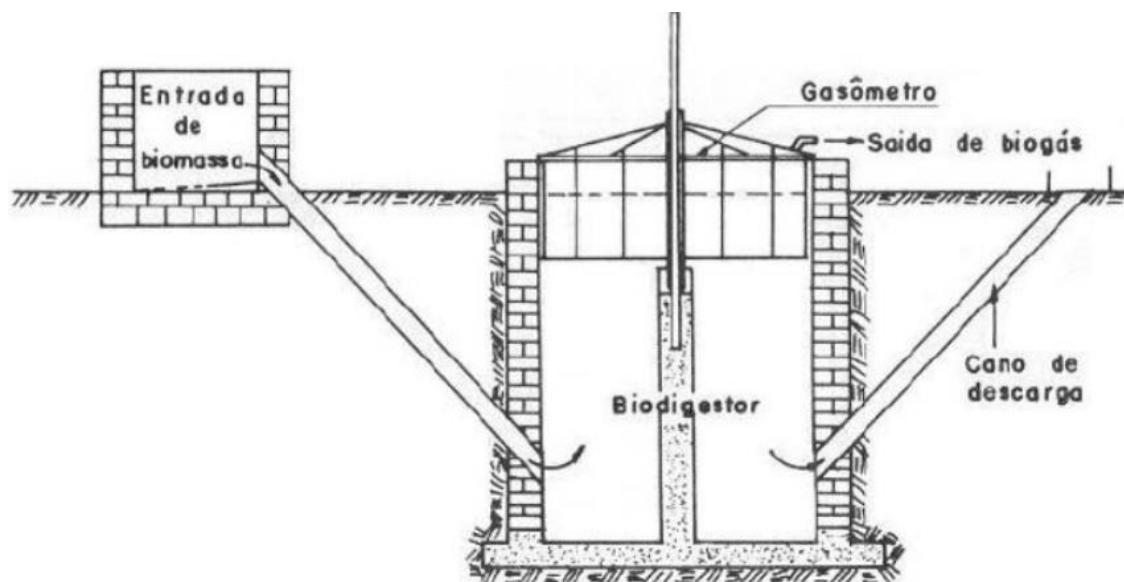
Devido a ser pesa única, pode atingir altas pressões, e assim ocorrendo vazamentos pelo teto. O biodigestor é aterrado no solo para ocupar menos espaço, por se tratar de uma tecnologia desenvolvida para pequenas propriedades (MELLO, 2017; CÉSAR; SANTOS; CARVALHO, 2016).

#### 1.2.1.2 Modelo Indiano



Constituído de alvenaria de formato circular onde ocorre a biodigestão, teto cilíndrico móvel chamado de gasômetro que permite uma pressão constante. Possui uma parede no centro do biodigestor para promover a circulação do material fermentável, (MELLO, 2017; CÉSAR; SANTOS; CARVALHO, 2016).

**Figura 3** - Biodigestor Modelo Indiano.



Fonte: Mello (2017).

Pelo fato de apresentar uma parede no seu interior a biomassa deverá possuir uma baixa viscosidade, portanto substrato deverá possuir uma concentração de sólidos totais menor que 8% para que haja circulação no interior do biodigestor e também evitar o entupimento dos canos de entrada e saída do mesmo (FRIGO *et al.*, 2015).

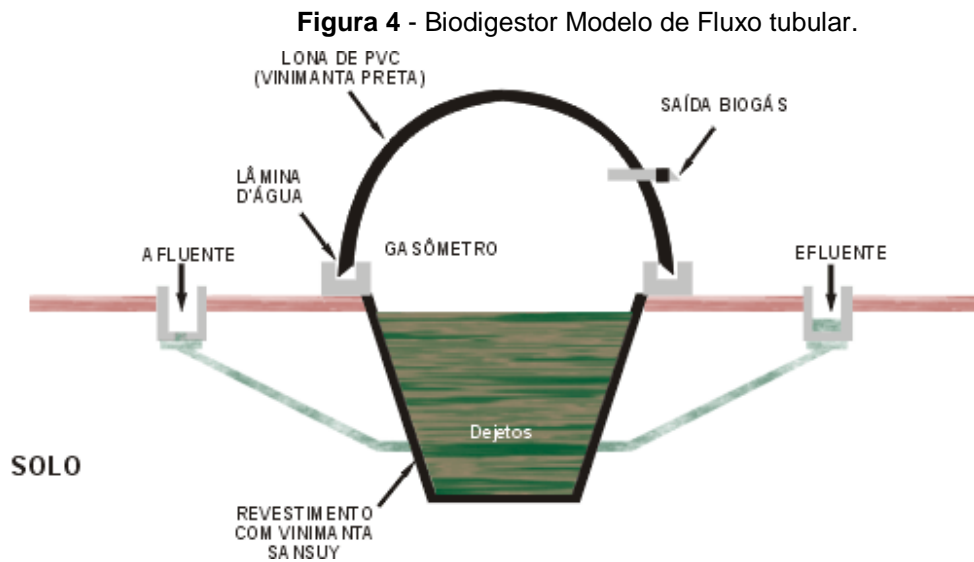
### 1.2.1.3 Modelo Canadense ou fluxo tubular

Apresenta uma base retangular, geralmente seu comprimento é maior que a profundidade, com sua cúpula revestidas por uma lona impermeável que fica exposta ao sol, esse modelo é o que possui o melhor aproveitamento de biogás (MELLO, 2017; CÉSAR; SANTOS; CARVALHO, 2016).

A instalação dessa tecnologia deverá ser em local aberto pois sua cúpula é inflável. O biodigestor pode ser abastecido de forma contínua ou por batelada.

Apresenta vantagens por ser usado tanto em pequenos projetos quanto em grandes projetos (FRIGO *et al.*, 2015).

Segundo Mello (2017) por esse modelo ser mais raso e longo, implica em uma maior produtividade de gás por matéria fermentada.

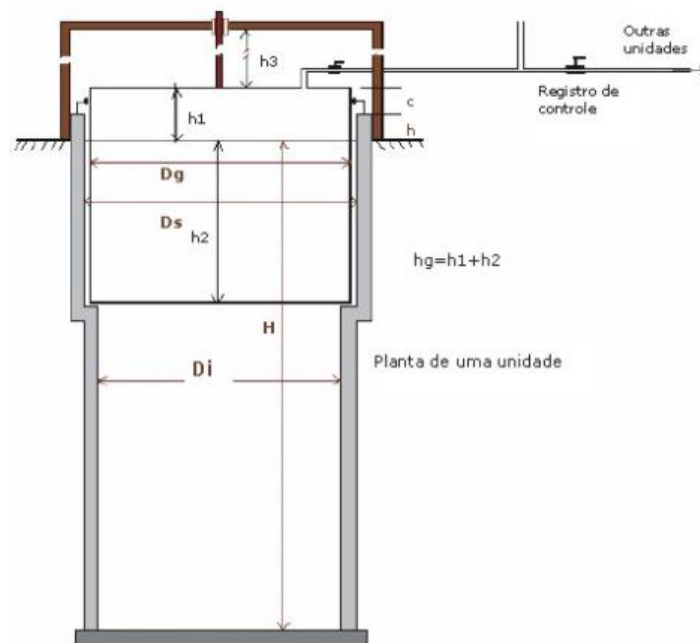


Fonte: Mello (2017).

#### 1.2.1.4 Modelo de Batelada

Esse modelo é operado de uma maneira simples, o sistema é abastecido de uma única vez, mantendo-se em biodigestão pelo período de tempo desejado. E ao término da produção do biogás é realizada a descarga do material biodigerido e realizada uma nova recarga se assim for necessária. Esse tipo de biodigestores geralmente é empregado em granjas avícolas (MELLO, 2017; FRIGO *et al.*, 2015).

**Figura 5** - Biodigestor Modelo de Batelada.



Fonte: Frigo *et al.*, (2017)

### 1.2.2 Biodigestão

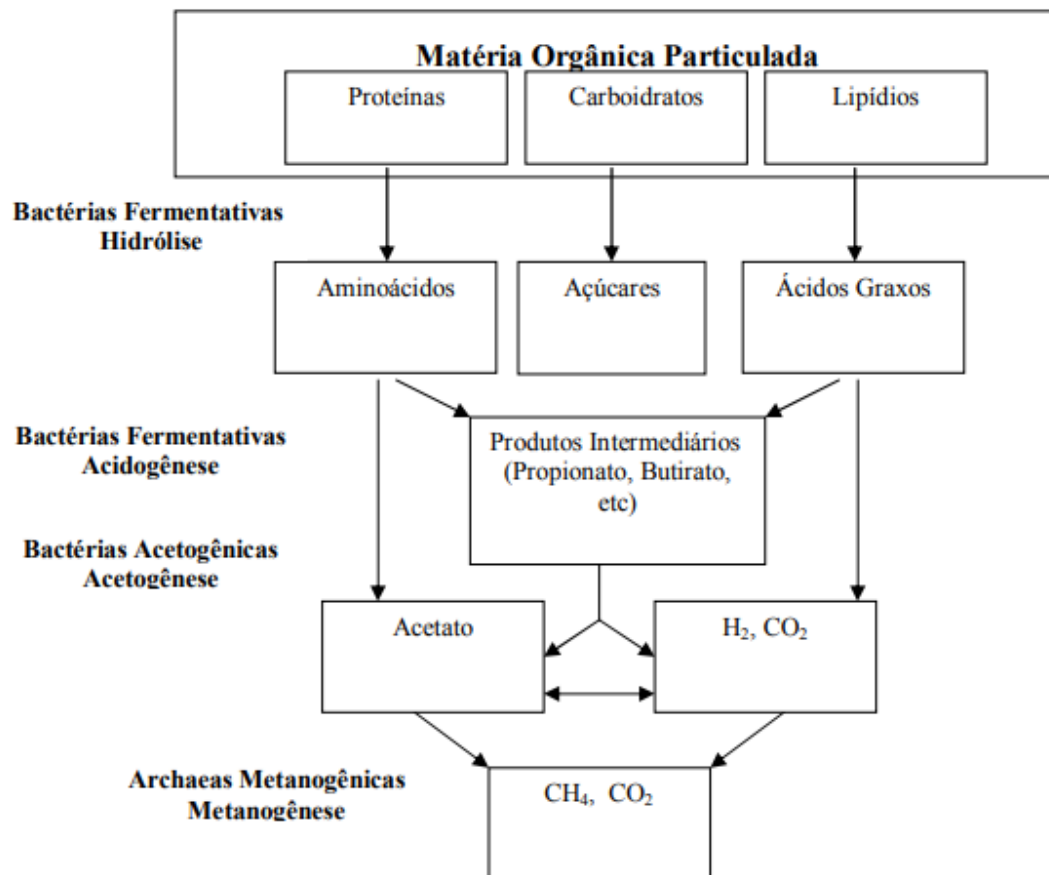
Lima *et al.* (2001) afirma que nos biodigestores ocorrem três processos importantes para a geração do biogás:

- O primeiro estágio realizado por bactérias fermentativas que hidrolisam os carbonos complexos em ácidos orgânicos e álcoois;
- No segundo estágio, as bactérias acetogênicas realizam o processo de conversão dos ácidos orgânicos e dos álcoois produzidos no primeiro estágio em acetato, hidrogênio ( $H_2$ ) e gás carbônico ( $CO_2$ );
- Por fim, no terceiro estágio, as bactérias metanogênicas utilizam os produtos dos dois estágios anteriores para produzir  $CH_4$  e  $CO_2$ .

A Figura 5 abaixo mostra o processo da produção de gás metano que é o principal produto da biodigestão.

Portanto, tem-se que para a produção de gás metano pelas bactérias metanogênicas, se faz necessário que o biodigestor apresente condições de pH, temperatura, relação de C:N, ideais para a formação do gás (COMASTRI, 1981). Comastri (1981), mostra que o dejetos da criação de aves tem uma relação C:N de 7,3:1 respectivamente, o que é muito próximo da relação C:N do lodo do sistema de bioflocos.

**Figura 6** - Processo para a formação do biogás.



Fonte: Pontes (2003).

### 1.3 BIOGÁS

O biogás é uma mistura gasosa cuja composição varia de acordo com a matéria-prima, com as condições de operação do processo e com as condições ambientais onde está instalado o biodigestor. Os principais constituintes do biogás são o metano e gás carbônico, e em concentrações menores estão sulfeto de hidrogênio, vapor de água, nitrogênio, hidrogênio (WEILAND, 2009).

**Tabela 2** – Variação da concentração do biogás.

Gás	Faixa de concentração (%)
Metano	60-70
Gás carbônico	30-40
Hidrogênio	0-1
Nitrogênio	0-3
Oxigênio	0-1
Gás sulfídrico	0-1

Fonte: Adaptado de Ferreira (2013)

### 1.3.1 Poder calorífico

Por definição poder calorífico é a quantidade de energia liberada por unidade de massa ou de volume quando queimado completamente (HILSDORF, 2004). Portanto, o metano presente na mistura do biogás regula o poder calorífico inferior, quanto maior for seu percentual maior será o valor energético, e situa em uma faixa de 5 000 a 6 000 kcal/m<sup>3</sup> (COMASTRI, 1981; LIMA; PASSAMANI, 2012). A Tabela 3, mostra a variação do poder calorífico inferior em relação à composição do biogás.

**Tabela 3** - Variação do poder calorífico inferior do biogás.

Composição química	Peso específico (kg/m <sup>3</sup> )	Poder Calorífico Inferior (kcal/m <sup>3</sup> )
40% CH <sub>4</sub> , 60% CO <sub>2</sub>	1,4643	3424,29
60% CH <sub>4</sub> , 40% CO <sub>2</sub>	1,2143	5136,46
65% CH <sub>4</sub> , 35% CO <sub>2</sub>	1,1518	5564,50
75% CH <sub>4</sub> , 25% CO <sub>2</sub>	1,0268	6420,59
95% CH <sub>4</sub> , 5% CO <sub>2</sub>	0,7768	8132,78
99% CH <sub>4</sub> , 1% CO <sub>2</sub>	0,7268	8475,23

Fonte: Adaptado de Lima e Passamani, 2012).

### 1.3.2 Uso do biogás

Por ser um combustível altamente energético e extremamente inflamável, é comumente empregado como fonte energia. Usualmente em sistemas para

aquecimento, como em fornos, fogões e caldeiras para geração de eletricidade, e também em motores a combustão interna adaptados (COMASTRI, 1981).

### 1.3.3 Inibidores da produção de biogás

Segundo Cortez *et al.*, (2009) a presença de substâncias tóxicas podem inibir a produção de biogás (Tabela 4), entretanto, em concentrações ideais pode ser um estimulante.

**Tabela 4** - Influência de certos elementos na biodigestão.

Íons	Concentração (mg/L)		
	Estimulante	Média inibição	Forte Inibição
Sódio (Na <sup>+</sup> )	100-200	3500-5500	≥ 8000
Potássio (K <sup>+</sup> )	200-400	2500-4500	≥ 12000
Cálcio (Ca <sup>+</sup> )	100-200	2500-4500	≥ 8000
Magnésio (Mg <sup>2+</sup> )	75-150	1000-1500	≥ 3000
Amônio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	5-200	1500-3000	≥ 3000

Fonte: Adaptado de Cortez *et al.*, (2009) e Pecora, (2006).

Além disso, outro elemento que influencia na biodigestão é a presença do sulfato (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Devido ao fato de as bactérias redutoras de sulfato competirem com as bactérias produtoras de metano por acetato e H<sub>2</sub> (ALPHENAAR; VISSER; LETTINGA, 1993).

Portanto, o efluente do sistema de bioflocos ao ser retirado do tanque de cultivo contendo água do mar (salinidade de 3,5%), apresenta elevadas concentrações de certos inibidores, como os íons sódio (10,2 g L<sup>-1</sup>) e sulfato (1,2 g L<sup>-1</sup>) (GEBAUER, 2004; ARANTES, 2014).

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Verificar a capacidade de produção de biogás a partir do efluente de sistema de bioflocos da produção de camarões (*Litopenaeus vannamei*) *in natura* e com retirada de parte cloreto de sódio (NaCl) e sulfato ( $\text{SO}_4^{2-}$ ).

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a capacidade de produção de biogás a partir de efluente de sistemas de carcinicultura em bioflocos em biodigestores de escala laboratorial operando em batelada;
- Analisar se a retirada da água do mar do efluente de sistema de bioflocos gera diferenças da composição do biogás em biodigestores de escala laboratorial operando em batelada.
- Analisar comparativamente a produção de biogás a partir do efluente processado e *in natura* nestes biodigestores.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente da produção de camarão em sistema de bioflocos, foi adquirido no Laboratório de Camarões Marinhos (LCM) do Departamento de Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) localizado no bairro Barra da Lagoa em Florianópolis-SC (Figura 7), cujo as coordenadas geográficas é dada pela latitude 27°34' 54" S e longitude 48°26'30" W.

**Figura 7** - Localização geográfica do Laboratório de camarões marinhos da UFSC.



Fonte: Google Maps.

O efluente foi proveniente de um decantador acoplado ao tanque de cultivo superintensivo de camarões *L. vannamei* adultos (aproximadamente 12 g) em sistemas de bioflocos, contendo uma densidade de estocagem de 180 camarões m<sup>-2</sup>. Sendo, que o LCM dispõe dados da caracterização do lodo (efluente) apresentados na Tabela 1 (item 1.1.2).

A amostra do efluente foi coletada em um galão de água mineral (20 litros), e encaminhada para o campus da UFSC/Araranguá em condições ambientais. No dia seguinte da coleta, preparou-se o mesmo para biodigestão.

#### 3.2 MONTAGEM DOS BIODIGESTORES

Os biodigestores de escala laboratorial foram montados utilizando-se galões de 5 litros de água mineral (garrafas PET). Na tampa dos galões foram



adaptadas válvulas de retenção hidráulica (Figura 8), para controlar a vazão de biogás e para auxiliar na coleta do gás para as análises. Todos os sistemas foram verificados quanto à presença de vazamentos.

**Figura 8** - Adaptação das tampas dos galões.



Fonte: Autor

### 3.3 DIMINUIÇÃO DA CARGA SALINA DO EFLUENTE

Dado que o objetivo deste trabalho foi "Verificar a capacidade de produção de biogás a partir do efluente de sistema de bioflocos da produção de camarões (*Litopenaeus vannamei*) *in natura* e com retirada de cloreto de sódio (NaCl) e sulfato ( $SO_4^{2-}$ ).", uma parte do efluente do sistema de bioflocos obtida tal como previamente descrito no item 3.1 passou por um processo de dessalinização. Para o propósito de separar o lodo da água do mar, utilizou-se de um filtro de papel da marca Brigitta (coador de café). Um volume de 10 L da amostra do efluente foi filtrado, ficando o lodo do sistema de bioflocos ficou retido no papel, sendo posteriormente retirado e depositado no recipiente de PET (ilustrado na Figura 9). Retornou-se ao volume original de 10 L com o acréscimo de água mineral comercial (água doce). Portanto, a água retirada lixiviou parte dos sais contidos no efluente promovendo, desta maneira, sua dessalinização.

**Figura 9** – Dessalinização do efluente do sistema de bioflocos.



Fonte: Autor

Em seguida, agitou-se o recipiente de PET contendo o lodo processado e água mineral para homogeneizar e colocou-se 3 L (medido em béquer) desse efluente processado em 3 biodigestores de 5 L (Figura 10, A). E para o efluente *in natura* restante realizou-se a agitação e transferiu-se 3 L (medido em béquer) para 3 biodigestores de 5 L (Figura 10, B). Todos os biodigestores ficaram com um volume de 3 L de efluente e 2 L de reservatório para o biogás.

**Figura 10** - Biodigestores do efluente processado (A) e *in natura* (B).

A



B



Fonte: Autor

### 3.4 OPERAÇÃO DOS BIODIGESTORES

Os biodigestores foram operados em batelada e mantidos em uma sala com pouca ventilação, não climatizada, cuja a temperatura variou de 19 °C a 28 °C, sendo que a temperatura média ficou em 25 °C.

Inicialmente as análises foram idealizadas para ocorrer em um período de uma semana (7 dias), no período de biodigestão foi do dia 15/04/2019 até dia 30/05/2019 para os biodigestores de efluente processado e do dia 16/04/2019 até dia 31/05/2019 para os biodigestores de efluente *in natura*. Sendo que a primeira análise foi realizada no dia 15/04/2019 para os biodigestores de efluente processado e dia 16/04/2019 para os biodigestores de efluente *in natura*, mas devido à presença de ar atmosférico residual no interior dos biodigestores, as análises realizadas nesses dias apresentaram biogás diluído em ar, mistura gasosa com baixa concentração de CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>, tendo como resultados valores errôneos.

Então, realizou-se a retirada de todo o gás dos biodigestores (aproximadamente dois litros) e, como resultado, além da deformação dos biodigestores o efluente atingiu o nível da tampa. Em virtude disso todo o gás que completou este volume era produto da biodigestão. A partir deste momento esperou-se até a formação de biogás suficiente para a realização da série de análises.

E por observação no volume do reservatório dos biodigestores, a formação de biogás suficiente para a realização das análises ocorreu nos dias 25/04/2019 nos biodigestores de efluente processado e 26/04/2019 nos biodigestores de efluente *in natura*. No dia 25/04/2019 foram realizadas as análises dos biodigestores de efluente processado e no dia 26/04/2019 dos biodigestores de efluente *in natura*. Posteriormente, seguiu-se com a proposta inicial de realizar as análises a cada 7 dias de biodigestão.

Finalmente, por observação, notou-se em dois dos três biodigestores de efluente processado e também dois dos três biodigestores de efluente *in natura* que estava encerrando a produção de biogás, sendo assim, foi interrompida as análises nos dias 30/05/2019 e 31/05/2019. Portanto, houve produção de biogás por 6 semanas (42 dias), após a retirada do ar atmosférico residual.

### 3.5 ANÁLISE DO BIOGÁS

A determinação da composição do biogás foi realizada utilizando-se o kit portátil de análise de biogás da Alfakit (Figura 11).

**Figura 11** - Kit de análise portátil da Alfakit biogás.



Fonte: [www.embrapa.br](http://www.embrapa.br)

Realizou-se a coleta e análise de biogás a cada 7 dias de biodigestão de todos os biodigestores (efluente processado e *in natura*) e feito a média em cada série de análise de cada modelo estudado, cuja a determinação das concentrações de amônia, de gás sulfídrico e de gás carbônico foram analisadas.

Para a determinação das concentrações de amônia ( $\text{NH}_3$ ) e do gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) foi empregado o método analítico colorimétrico. Já para a determinação das concentrações do gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) e metano ( $\text{CH}_4$ ) utilizou-se do método volumétrico (EMBRAPA, 2007).

No método analítico colorimétrico as cadernetas (Figura 12) apresentam resultado em ppmV, a 25 °C e 1 atmosfera de pressão, para outras temperaturas, e outras concentrações dos compostos ( $\text{NH}_3$  e  $\text{H}_2\text{S}$ ) o manual da Alfakit (EMBRAPA, 2007) disponibiliza tabelas para determinação da concentração do composto desejado.

**Figura 12** – Cadernetas para análise colorimétrica.



Fonte: PAIM (2018)

Na determinação da concentração do gás sulfídrico seguiu-se os passos descritos no manual da Alfakit biogás. Entretanto, os resultados das análises excederam a escala colorimétrica, sendo assim, o manual sentencia a refazer a análise com uma quantidade menor de biogás a ser aspirado no item c). Portanto, no item c) do manual da página 12 (EMBRAPA, 2007) foi aspirado até 6 mL e não quantidade descrita, ou seja, foi coletado 1 mL de biogás para a realização das análises de determinação da concentração de gás sulfídrico, tanto para os biodigestores efluente processado quanto para os biodigestores efluente *in natura* em todas as análises, segue instruções do manual abaixo:

- a) Com a seringa de 10 mL, coletar 5 mL da solução pré-tratamento que restou na determinação de amônia;
- b) Coletar no saco amostrador;
- c) Abrir a válvula e aspirar até 10 mL e fechar a válvula;
- d) Sem desconectar, agitar a amostra por 2 minutos para que a solução absorva o sulfeto;
- e) Virar a seringa para cima, desconectar e transferir a solução para a cubeta de vidro para análise colorimétrica.

Na análise colorimétrica:

- a) Adicionar 5 gotas de reagente Sulfeto 1 na cubeta com a amostra e agitar em seguida;
  - b) adicionar 2 gotas de reagente Sulfeto 2 e agitar;
  - c) Aguardar o tempo de reação 10 minutos;
- Comparar a intensidade de cor desenvolvida com as cores da cartela e fazer a leitura da concentração de ácido sulfídrico em ppmV (mL m<sup>-3</sup>) dos números em preto. (KUNZ, 2018, p.13).

No método analítico volumétrico deu-se pela leitura direta do volume no suporte analítico da concentração de CO<sub>2</sub> contido na amostra (Figura 13), e por diferença de volume tem-se a concentração de CH<sub>4</sub>.

**Figura 13** – Suporte de análise do CO<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>.



Fonte: PAIM (2018)

Para a determinação da concentração do CO<sub>2</sub> e do CH<sub>4</sub>, utilizou-se o manual e a página do Youtube pela empresa Alfakit. Devido a uma falha no manual nos primeiros passos, buscou-se na referida página no Youtube da empresa Alfakit a explicação de como utilizar o equipamento para fazer a análise do gás carbônico. Em virtude disso, foi empregada a seguinte metodologia:

a) No início da determinação do CO<sub>2</sub>, transferiu-se uma quantidade de solução pré-tratamento 2 para a cubeta de plástico de 50 mL. Com a seringa de gás carbônico coletou-se 5 mL da solução descrita. Em seguida, inseriu-se a seringa no suporte do conjunto (ALFAKIT, 2015).

Posteriormente, seguiu-se as instruções no manual a partir do item b) da página 14 (EMBRAPA, 2007), por descrever da mesma forma a metodologia descrita na página no Youtube.

- b) Em seguida, conectar o amostrador no suporte. Abrir a válvula e transferir o gás para a seringa de vidro. Fechar a válvula e a válvula do amostrador;
- c) Transferir o gás da seringa de vidro para a seringa de plástico;
- d) Desconectar o amostrador;
- e) Ao término a transferência, não soltar a seringa de vidro, mas fechar imediatamente a conexão, e evitando que a solução seja transferida para a seringa de vidro;
- f) Agitar com cuidado o conjunto por 2 minutos;
- g) Posicionar o suporte na posição vertical com a seringa de plástico para baixo. Em seguida, abrir a conexão entre as seringas;
- h) transferir todo o gás da seringa de plástico para a seringa de vidro, empurrando o embolo da seringa de plástico, na qual não pode ficar com gás;
- i) Ao término da transferência, fechar a conexão.

Fazer a leitura do volume de gás que voltou, utilizando a escala auxílio no suporte, que resulta na porcentagem de gás carbônico e metano. (KUNZ, 2018, p.15).

### 3.6 ANÁLISE ESTATÍSTICA

As análises estatísticas foram realizadas comparando-se os resultados obtidos a partir dos biodigestores de efluente processado e de efluente *in natura* em cada tempo de amostragem.

O teste estatístico utilizado foi o teste t de student (não paramétrico) com o pós-teste de Mann Whitney, que consistiu em verificar se as médias dos biodigestores de efluente processado e de efluente *in natura*, apresentaram valores significativamente diferentes ou não. O programa utilizado foi Graphpad Prism 5.0<sup>®</sup>. Assumiu-se um nível de significância de 0,05 nessas análises.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

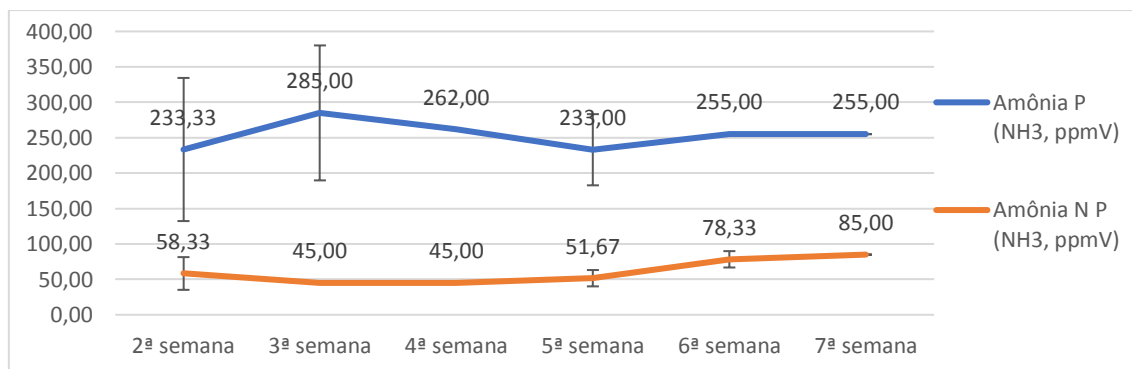
### 4.1 RESULTADOS DA AMÔNIA

Para a determinação da concentração de amônia se faz necessário a leitura colorimétrica, após o procedimento analítico era possível notar, em alguns casos, que a cor na cubeta ficava entre duas cores distintas da caderneta colorimétrica de amônia (Figura 12), logo foi realizada a média simples para obtenção dos valores de amônia.

Diante dos dados das análises pode-se observar (Gráfico 1) a diferença entre as médias obtidas para os biodigestores de efluente processado dos biodigestores de efluente *in natura*. A oscilação da média para a amônia nos biodigestores de efluente processado foi de 233 a 285 ppmV, já para os *in natura* a oscilação da média ocorreu em uma faixa de concentração menor, de 45 a 85 ppmV. Essa variação das médias de amônia provavelmente é devido ao tratamento aplicado ao lodo, reduzindo-se a concentração salina, apesar de essa redução não ter sido caracterizada.

Segundo Scheeren *et al.* (2011) a presença de NaCl inibe a formação de amônia durante a biodigestão, portanto, considerando-se que os biodigestores de efluente *in natura* tem uma maior concentração de sais de sódio tem-se que a concentração de amônia nos biodigestores de efluente *in natura* foi menor.

**Gráfico 1** - Variação da concentração média da amônia nos biodigestores estudados.



Fonte: Autor.

### 4.2 RESULTADOS DO GÁS SULFÍDRICO



As análises para determinação do gás sulfídrico se fizeram necessário utilizar 1 mL de biogás para cada solução aquosa, isso para ambos modelos de biodigestores estudados. Apesar de utilizar a menor volume de biogás para a realização da análise desse componente os valores de concentração gás sulfídrico apresentaram valores altíssimos, que em suma ultrapassaram o valor da escala em todas as séries de dados.

A concentração de gás sulfídrico foi maior que 3060 ppmV, tanto nos biodigestores de efluente processado como nos contendo efluente *in natura* (Figura 14), devido à alta concentração de  $\text{SO}_4^{2-}$  (Tabela 1) no lodo do sistema de bioflocos. Portanto, pode-se afirmar que houve uma competição entre as bactérias redutoras de sulfato com as bactérias produtoras de metano pelo substrato do segundo estágio da biodigestão (acetato e  $\text{H}_2$ ), como previsto por Alphenaar, Visser e Lettinga (1993). Logo isso remete a uma provável inibição da produção de metano tanto nos biodigestores de efluente processado quanto nos biodigestores de efluente *in natura*.

**Figura 14** - Análise colorimétrica do gás sulfídrico utilizando 1 mL de biogás.



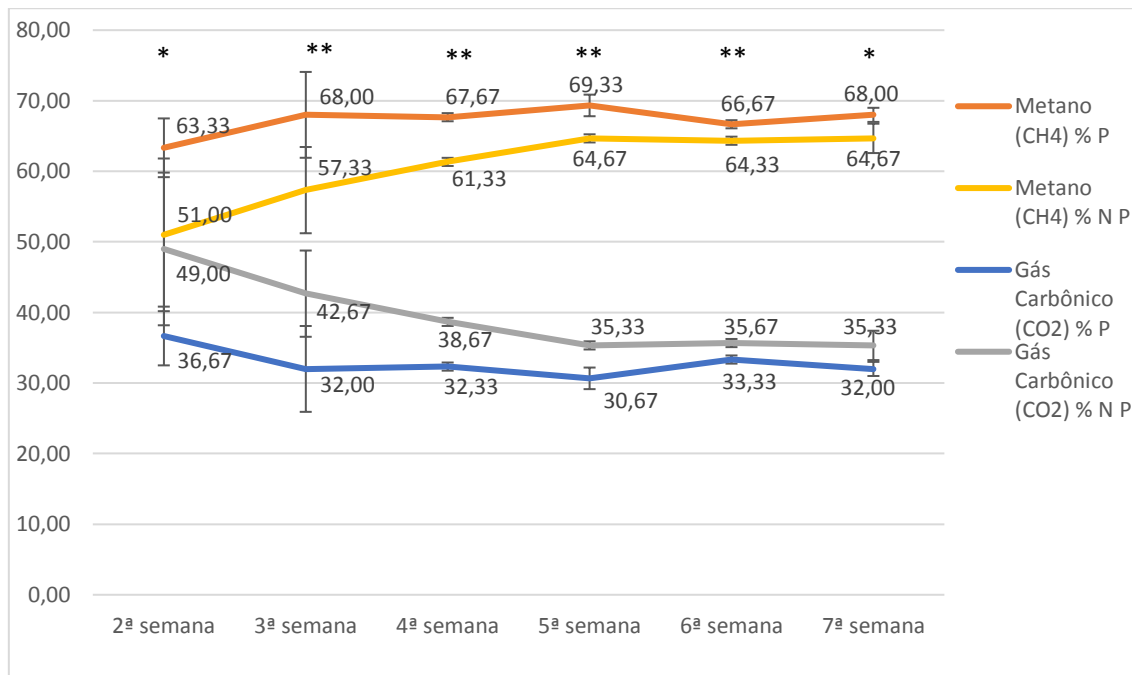
Fonte: Autor

### 4.3 RESULTADOS DE GÁS CARBÔNICO E METANO

Os valores das concentrações médias de  $\text{CO}_2$  e  $\text{CH}_4$  em cada série de dados podem ser observados no Gráfico 2, onde observa-se que o biogás

gerado pelos biodigestores de efluente processado apresentou porcentagem maior do que nos biodigestores de efluente *in natura*.

**Gráfico 2** - Variação da concentração média de metano e de gás carbono nos biodigestores estudados.



As análises estatísticas referem-se as diferenças entre a produção de metano entre efluente processado e *in natura* em cada tempo de amostragem (\*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ).

Fonte: Autor

Comparando os resultados obtidos em cada tempo de amostragem dos biodigestores de efluente processado em relação aos biodigestores de efluente *in natura*, temos que as séries de amostragens da 3ª até a 6ª semana apresentaram um grau de significância de  $P < 0,01$ , ou seja, pode-se deduzir que as médias obtidas nos biodigestores de efluente processado diferem das médias obtidas nos biodigestores de efluente *in natura*. Já para as amostragens da 2ª e 7ª semana o grau de significância foi de  $P < 0,05$ , podendo-se inferir que há diferença nas médias em cada tempo de amostragem dos biodigestores de efluente processado em relação aos biodigestores de efluente *in natura*.

Ao comparar as médias da concentração de metano em cada série de dados temos que a variação percentual média foi de 9,94%, por outro lado, se analisarmos os pontos isoladamente temos que a diferença no começo do processo de produção de biogás demonstrou uma maior aceleração nos biodigestores de efluente processado 19,47% e 15,69% na segunda e terceira

semanas, respectivamente, quando comparados à média obtido dos biodigestores de efluente *in natura*. Posteriormente nas últimas séries de análise estes valores foram de 3,50 e 4,90%, demonstrando um aumento da porcentagem de metano na composição dos biodigestores de efluente *in natura*, mas que ainda permaneceram significativamente inferiores aos biodigestores de efluente processado.

Já em relação à variação alta do desvio padrão, observados no Gráfico 2, em relação à média nas duas primeiras semana, essa pode ser descrita ao fato que em alguns biodigestores o metabolismo microbiano foi maior que em outros, e/ou inexperiência do operador do equipamento, que por ventura sem intenção possa ter cometido algum erro durante os passos exigidos pelo manual para a realização da análise volumétrica.

Como previsto, houve diferença na composição gasosa entre o biogás obtido dos biodigestores de efluente processado em relação aos biodigestores de efluente *in natura*, isso pode ser devido à presença de um inibidor, supostamente íons de sódio presentes em maior concentração no efluente *in natura*, devido ao mesmo não ter passado por processo de retirada dos sais, logo, já se esperava que a concentração de metano no biogás nos sistemas de biodigestão desse efluente seria menor, de fato isso pode ser observado no Gráfico 2.

Além disso, é notável que os biodigestores de efluente processado atingiram mais rapidamente uma composição média de metano acima de 60% (poder calorífico inferior maior que 5 000 kcal/m<sup>3</sup> segundo Tabela 3), que pode ser observado no Gráfico 2. Foi na 2ª semana que em síntese manteve-se a fase estacionária de produção de metano na faixa de 66,67% a 69,33%. Por outro lado, os biodigestores de efluente *in natura* atingiram uma composição média de metano acima de 60% na 3ª semana, e tendo uma fase estacionária entre 61,67% a 64,67% de metano, que foi menor que a fase estacionária dos biodigestores de efluente processado.

## 5 CONCLUSÃO

O biogás gerado pelas médias obtidas dos modelos de biodigestores estudados apresentou ser significativamente diferente. Isso devido aos biodigestores de efluente *in natura* ter em sua composição a presença de inibidores em maior quantidade.

Como previsto a presença dos inibidores presentes no mosto dos biodigestores influenciou negativamente na composição percentual e a velocidade do gás metano. Devido à alta concentração de íons de sódio e de sulfato na solução aquosa dos biodigestores de efluente *in natura*.

Em suma, os biodigestores de efluente processado e *in natura* atingiram valores usuais de produção de biogás. No entanto, com a retirada da água salina e sua substituição por água com baixos teores de salinidade (água mineral comercial) o efluente passou a apresentar maiores concentrações médias de metano que o efluente *in natura*.

Analisado os pontos isoladamente temos que a diferença no começo do processo de produção de biogás demonstra uma maior aceleração nos biodigestores de efluente processado e apresenta um ganho nas primeiras semanas quando comparados aos biodigestores de efluente *in natura*. Nas últimas análises a diferença entre estes valores foi menor, mas permaneceu apresentando valores significativamente diferentes.

Devido a não quantificação volumétrica do biogás gerado pelo sistema de bioflocos da carcinicultura é possível que seja objetivo de um futuro trabalho a ser realizado, bem como utilizar de um método mais apropriado para a determinação do gás sulfídrico. Contudo outro trabalho sugerido é a caracterização do efluente após a biodigestão.

## REFERÊNCIAS

- ALFAKIT. **Análise de biogás**. 2015. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=49XfVF5rhKo>>. Acesso em: 09 abr. 2019.
- ALPHENAAR, P. A.; VISSER, A.; LETTINGA, G. The effect of liquid upward velocity and hydraulic retention time on granulation in UASB reactors treating wastewater with a high sulphate content. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 43, n. 3, p.249-258, jan. 1993. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/0960-8524\(93\)90038-d](http://dx.doi.org/10.1016/0960-8524(93)90038-d).
- ARANTES, R. F. **Caracterização quali-quantitativa dos efluentes gerados no cultivo intensivo de *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos**. 2014. 101 f. Tese (Doutorado) - Curso de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.
- BARCELOS, S. S. **Aplicação de leitos de secagem no tratamento do efluente do cultivo de *litopenaeus vannamei* em biofloco**. 2016. 48 f. TCC (Graduação) - Curso de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- CÉSAR, G. N.; SANTOS, B. De S.; CARVALHO, S. L. De. Uso de Biodigestores para Fins Energéticos em Propriedades Rurais. Fortaleza: **Revista Científica Semana Acadêmica**, 2016. p. 1–11.
- COMASTRI FILHO, J. A. **Independência energética do pantanal matogrossense**. 1981. 53 f. Monografia (Especialização) - Unidade de Execução de Pesquisa de Âmbito Estadual de Corumbá, Embrapa, Corumbá, 1981.
- CORTEZ, L. A. B. *et al.* **Biomassa para a energia**. Campinas: Unicamp, 2009. 732 p.
- DEGANUTTI, R. **Biodigestores rurais: modelo Indiano, Chinês e Batelada**. SBPN - Scientific Journal, São Paulo, v. 5, n. 1, p. 74-75, 2001
- EMBRAPA. **Manual de análise biogás**. Brasília: Alfakit LTDA, 2007. 24 p.
- FAO. **An estimated 3 million tonnes of shrimp entered the international trade in 2018**. Disponível em: <<http://www.fao.org/in-action/globefish/market-reports/resource-detail/en/c/1199292/>>. Acesso em: 02 jul. 2019.
- FRAGA, A. P. C. **Caracterização da qualidade da água, dos sedimentos e dos efluentes gerados pela atividade de carcinicultura marinha, em duas fazendas do estado de Santa Catarina - Brasil**. 2002. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- FRIGO, K. D. de A. *et al.* Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, Cascavel, v. 4, n. 1, p.57-65, dez. 2015.

GEBAUER, R. Mesophilic anaerobic treatment of sludge from saline fish farm effluents with biogas production. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 93, n. 2, p.155-167, jun. 2004.

HILSDORF, J.W. et al. **Química tecnológica**. São Paulo: Cengage Learning, 2004. 340 p.

KARLSSON, T. *et al.* **Manual básico de biogás**. Lajeado: Univates, 2014. 70 p.

KRUMMENAUER, D. **Otimização do manejo para o cultivo do camarão-branco *litopenaeus vannamei* em sistemas de estufas com bioflocos**. 2012. 161 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós - Aquicultura, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2012.

KRUMMENAUER *et al.* **Cultivo de camarões marinhos em sistema de bioflocos: análise da reutilização da água**. 2012. 34f Monografia (especialização) - Curso de Aquicultura, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2012.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, L.; PICCININ, L.S. **Manual de análise: Biogás**. Alfakit LTDA e EMBRAPA Suínos e Aves, 2018.

LEITE, V. D.; POVINELLI, J. Comportamento dos sólidos totais no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 3, n. 2, p.229-232, 1999.

LIMA, A. C. G.; PASSAMANI, F. C. **Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator uasb da ete-ufes**. 2012. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2012.

LIMA, U. A. *et al* (Org.). **Biotecnologia Industrial**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda, 2001. 3 v.

MAGNOTTI, C. C. F. **Cultivo heterotrófico do camarão marinho *Litopenaeus vannamei* avaliando duas metodologias de remoção de sólidos**. 2011. 37 f. Monografia (Especialização) - Curso de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2011.

MELLO, P. P. **Biogás na suinocultura: comparação de tecnologias de geração de gás em três diferentes países**. 2017. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2017.

MIRZOYAN, N. *et al.* **Quality of brackish aquaculture sludge and its suitability for anaerobic digestion and methane production in an upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor**. 2007. 7 f. Monografia

(Especialização) - Curso de Department Of Environmental Hydrology & Microbiology, University Of The Negev, Beer Sheva, 2007.

NASCIMENTO, J. Carcinicultura registra alta de 18% em 2018 e projeta aumentar produção. **Feed&food**, Sorocaba, p.74-74, maio 2019.

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. 98 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

PAIM, J. V. **Aplicação do biogás produzido a partir de dejetos de gado leiteiro como fonte alternativa de energia em uma queijaria**. 2018. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2018.

PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: estudo de caso**. 2006. 152 f. Dissertação de Mestrado – Programa Inter unidades de Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PEREIRA, G. S. **Implantação de um biodigestor de baixo custo em uma propriedade com criação de gado leiteiro**. 2018. 32 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Energia, Universidade Federal de Santa Catarina, Araranguá, 2018.

FERREIRA, J. **Produção de biogás e funcionamento de biodigestores no ensino de ciências**. 2013. 44 f. Monografia (Especialização) - Ensino de Ciências, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PIÉRRRI, V. **Efeito da alcalinidade sobre o cultivo de *Litopenaeus vannamei* em sistema de bioflocos**. 2012. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

PONTES, P. P. **Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e lodo excedente de filtro biológico percolador**. 2003. 198 f. Tese (Doutorado) - Curso de Saneamento, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2003.

PRETO *et al.* **Efeito da densidade de estocagem sobre o biofilme e o desempenho de pós-larvas do camarão-rosa *Farfantepenaeus paulensis* cultivadas em gaiolas**. 2005. 35 v. Dissertação (Mestrado) - Curso de Aquicultura, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2005.

SCHEEREN, M. B. *et al.* O processo ANAMMOX como alternativa para tratamento de águas residuárias, contendo alta concentração de nitrogênio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 15, n. 12, p.1289-1297, dez. 2011.

SEIFFERT, W. Q. **Modelo de planejamento para a gestão territorial da carcinicultura marinha.** 2003. 230 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SILVA, J. C. **Carcinicultura:** a viabilidade da criação de camarão em Rondônia. 2017. 35 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciências Contábeis, Universidade Federal de Rondônia, Cacoal, 2017.

SUITA, S. M. **O uso de dextrose como fonte de carbono no desenvolvimento de bio-flocos e desempenho do camarão-branco (*Litopenaeus vannamei*) cultivado em sistema sem renovação de água.** 2009. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-aquicultura, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2009.

SRISERTPOL, J. *et al.* Mathematical Modeling and Parameters Estimation of an Anaerobic Digestion of Shrimp of Culture Pond Sediment in a Biogas Process. **International Journal Of Energy And Environment**, v. 4, n. 4, p.213-220, 2010.

WEILAND, P. Biogas production: current state and perspectives. **Applied Microbiology And Biotechnology**, [s.l.], v. 85, n. 4, p.849-860, set. 2009.