

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DIRETORIA DE GRADUAÇÃO E EDUCAÇÃO PROFISSIONAL
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL**

BRUNA CAROLINE BAZEI

**ESTUDO DA CODIGESTÃO DE CAMA DE AVIÁRIO COM EFLUENTE
DE INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE CARNE SUÍNA NA
PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MEDIANEIRA

2016

BRUNA CAROLINE BAZEI

**ESTUDO DA CODIGESTÃO DE CAMA DE AVIÁRIO COM EFLUENTE
DE INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE CARNE SUÍNA NA
PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental, do Curso de Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira.

Orientador: Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare.

Co-orientadora: Me. Simoni Spohr Venzon.

MEDIANEIRA

2016



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

**ESTUDO DA CODIGESTÃO DE CAMA DE AVIÁRIO COM EFLUENTE DE
INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE CARNE SUÍNA NA PRODUÇÃO DE
BIOGÁS**

por

BRUNA CAROLINE BAZEI

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado às 16:15h do dia 24 de junho de 2016, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Laercio Mantovani Frare
Orientador

Me. Simone Spohr Venzon
Co-orientadora

Prof. Dra. Dangela Maria Fernandes
Membro titular

Prof. Me. Fabio Orssatto
Membro titular

- O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso -

AGRADECIMENTOS

Aos Anjos de Deus, que há muito me acompanham, pelas graças recebidas por intercessão Dele, para fazer sempre o melhor que posso.

A Instituição e seu corpo docente, pela oportunidade da minha graduação e por tudo que vivi e aprendi durante o período de graduação.

Ao meu orientador Prof. Laercio Mantovani Frare, pela orientação e pela oportunidade.

À minha co-orientadora Simoni Sphor Venzon pelo aprendizado, oportunidade, parceria, amizade e paciência.

À minha família pelo apoio e entendimento desta etapa pela qual passamos juntos, principalmente minha mãe Soeli Kafer, e meus queridos irmãos Guilherme e Ana Clara Bazei.

Ao meu querido amigo e namorado Roberto Midding Jr. pelo amor, apoio e compreensão nos momentos difíceis.

Às minhas amigas fiéis e companheiras Thiara R. Lopes, Jheini C. Camana e Amanda Borallho que mesmo distante sempre me deu apoio.

Aos amigos que fiz durante a universidade Michelle, Nathan, Karina, Nelsi, Paula, Ana, Patricia, agradeço pela força, ajuda em trabalhos, estudos e também pelos momentos de diversão.

A todas as pessoas que mesmo não mencionadas de alguma forma contribuíram durante essa trajetória da minha vida, meus sinceros agradecimentos.

RESUMO

BAZEI, Bruna Caroline. **Estudo da codigestão de cama de aviário com efluente de indústria de beneficiamento de carne suína na produção de biogás.** 2016. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

A expansão da avicultura em todo o mundo vem gerando grandes quantidades do resíduo cama de aviário. O presente trabalho teve como objetivo verificar a produção de biogás através da codigestão da cama de aviário com efluente de indústria de beneficiamento de carne suína para obtenção de biogás. De modo a resolver a questão ambiental da destinação dos mesmos e produzindo energia limpa e renovável contribuindo para a matriz energética brasileira. Neste intuito foram avaliados reatores anaeróbios tubulares horizontais com alimentação semicontínua, operado à temperatura ambiente. Para isto procedeu-se com a caracterização físico-química dos substratos de alimentação dos reatores bem como do afluente e efluente do sistema, além da realização de análises com o intuito de avaliar as características do biofertilizante e do biogás originados no processo. Os resultados demonstraram que os substratos de alimentação dos reatores possuem potencial energético e possuem características físico-químicas específicas e diferenciadas, porém, quando unificadas, propiciam o desenvolvimento de um ambiente suscetível ao desempenho da digestão anaeróbia. Avaliando a eficiência do sistema em geral, considerando os valores obtidos nas análises do afluente e efluente do mesmo, observou-se que, alguns parâmetros apresentam eficiência, enquanto, outros, resultaram em aumento de concentração. O biogás, produzido não apresentou concentrações interessantes de metano (13,93%), este fato pode ter sido desencadeado por fatores externos ao sistema. A viabilização da produção de biogás utilizando a cama de aviário como substrato melhora as condições de saneamento ambiental de uma propriedade, por ser uma alternativa de tratamento e ainda gerar renda devido à recuperação energética e obtenção de biofertilizante como produto final.

Palavras chave: Biogás. Cama de aviário. Codigestão.

ABSTRACT

BAZEI, Bruna Caroline. **Study of poultry litter co-digestion with pork processing industry effluent in biogas production.** 2016. 103f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira, 2016.

The expansion of the poultry industry worldwide has generated large quantities of waste poultry litter. This study aimed to verify the production of biogas by poultry litter co-digestion with processing plant effluent of pork to obtain biogas. Thus trying to solve the environmental issue of the allocation of the same and producing clean, renewable energy contributing to the Brazilian energy matrix. For this purpose were evaluated horizontal tubular semi-continuous anaerobic reactors with feeding, operated at room temperature. For this, we proceeded with the physicochemical characterization of the food substrates of reactors and the influent and effluent of the system, in addition to performing analyzes in order to evaluate the characteristics of biofertilizer and biogas arising in the process. The results showed that feeding substrates reactors have energy potential and have specific and different physical and chemical characteristics, however, when unified, favor the development of an environment susceptible to the performance of anaerobic digestion. Evaluating the overall system efficiency, considering the values obtained for the analysis of influent and effluent of the same, it was observed that some parameters have efficiencies while others, resulted in increased concentration. Biogas produced did not show interesting concentrations of methane (13,93%), this could have been triggered by factors external to the system. The feasibility of biogas production using poultry manure as substrate improves the environmental sanitation conditions of a property to be an alternative treatment and still generate income due to energy recovery and obtaining biofertilizers as a final product.

keywords: Biogas. Poultry litter. Co-digestion.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.	24
Figura 2 - (a) Biodigestor em operação; (b) Misturador alimentação do biodigestor.	38
Figura 3 - (a) Cama de aviário; (b) Aviário; (c) Acondicionamento da cama de aviário.	39
Figura 4 - Origem do efluente (ES).	40
Figura 5 - (a) Sistema de tratamento; (b) Biodigestores; (c) Sistema de coleta (proveta invertida); (d) Manômetro.	42
Figura 6 - Ilustração do sistema de produção de biogás (reator) e coleta (proveta invertida).....	43
Figura 7 - Esquema geral de condução do experimento.....	44
Figura 8 - Aclimatação	46
Figura 9 - Horários alimentação semicontínua.....	49
Figura 10 - Curva de calibração CH ₄	53
Figura 11 - Curva de calibração CO ₂	54
Figura 12 - Curva de calibração H ₂ S.....	54
Figura 13 - Gráfico da produção volumétrica de biogás reator 1.....	62
Figura 14 - Gráfico da produção volumétrica de biogás reator 2.....	62
Figura 15 - Gráfico da produção volumétrica de biogás reator 3.....	63
Figura 16 - Gráfico da produção volumétrica de biogás reator 4.....	63
Figura 17 - Gráfico da produção de biogás acumulada reator 1.	64
Figura 18 - Gráfico da produção de biogás acumulada reator 2.	65
Figura 19 - Gráfico da produção de biogás acumulada reator 3.	65
Figura 20 - Gráfico da produção de biogás acumulada reator 4.	66
Figura 21 - Gráfico da distribuição da produção de biogás dos reatores: R1, R2, R3 e R4.....	67
Figura 22 - Gráfico da distribuição da produção de biogás da região de estabilização dos reatores: R1, R2, R3 e R4.	67
Figura 23 - Diagrama para interpretação dos resultados.	69
Figura 24 - Diagrama de Pareto com os valores dos efeitos.....	74
Figura 25 - Curva de contorno em função dos tratamentos estudados.....	75
Figura 26 - Cromatogramas obtidos através das análises de biogás para os 4 reatores: R1, R2, R3 e R4.....	76
Figura 27 - Gráfico da relação AV/AT para o reator 1.....	82
Figura 28 - Gráfico da relação AV/AT para o reator 2.....	82
Figura 29 - Gráfico da relação AV/AT para o reator 3.....	83
Figura 30 - Gráfico da relação AV/AT para o reator 4.....	83

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ranking de países na produção de frangos - 2013.....	16
Tabela 2 - Características da cama de aviário.	19
Tabela 3 - Composição das bactérias metanogênicas.....	26
Tabela 4 - Valores da produtividade de biogás.	35
Tabela 5 - Níveis dos fatores estudados.	40
Tabela 6 - Ensaio realizados.	41
Tabela 7 - Alimentação dos biodigestores na fase de adaptação.	47
Tabela 8 - Massa de substratos alimentados aos reatores	48
Tabela 9 -Parâmetros físico-químicos de preservação e armazenamento de amostras.	52
Tabela 10 - Características do inóculo com base nas análises físico-químicas	55
Tabela 11 - Características do inóculo com base nas análises de macronutrientes .55	
Tabela 12 - Características do inóculo com base nas análises de micronutrientes ..56	
Tabela 13 - Análise granulométrica da cama de aviário (CA)	57
Tabela 14 - Características cama de aviário com base nas análises físico-químicas	58
Tabela 15 - Características cama de aviário com base nas análises de macronutrientes.....	58
Tabela 16 - Características cama de aviário com base nas análises de micronutrientes	58
Tabela 17 - Características do efluente de indústria de beneficiamento de carne suína com base nas análises físico-químicas	60
Tabela 18 - Características efluente de indústria de beneficiamento de carne suína com base nas análises de macronutrientes	60
Tabela 19 - Características efluente de indústria de beneficiamento de carne suína com base nas análises de micronutrientes.....	60
Tabela 20 - Taxa de produção de biogás, segundo o TRH _(dias) e a quantidade de SV _{al} (%).	68
Tabela 21 - Estimativas por ponto.....	71
Tabela 22 - Contrastes com totais.....	71
Tabela 23 - Decomposição da soma dos quadrados.	73
Tabela 24 - Qualidade do biogás produzido nos reatores estudados: R1, R2, R3 e R4.	76
Tabela 25 - Caracterização afluente/efluente em relação aos sólidos totais voláteis.	78
Tabela 26 - Variação da alcalinidade e acidez volátil dos efluentes dos reatores conforme as datas de alimentação.....	80
Tabela 27 - Variação da alcalinidade e acidez volátil dos efluentes dos reatores conforme as datas de alimentação.....	80
Tabela 28 - Variação da alcalinidade e acidez volátil dos efluentes dos reatores conforme as datas de alimentação.....	80
Tabela 29 - Características em relação as análises físico-químicas de COT, N, F e S presentes nos afluentes/efluentes dos reatores estudados.	85
Tabela 30 - Características em relação aos macronutrientes presentes nos afluentes/efluentes e seus respectivos percentuais de redução (%)/ acúmulo.....	87

Tabela 31 - Características em relação aos micronutrientes presentes nos afluentes/efluentes e seus respectivos percentuais de redução (%)/acúmulo.....	87
Tabela 32 - Características em relação aos micronutrientes presentes nos afluentes/efluentes e seus respectivos percentuais de redução (%)/acúmulo.....	88
Tabela 33 - Características em relação aos micronutrientes presentes nos afluentes/efluentes e seus respectivos percentuais de redução (%)/acúmulo.....	88

LISTA DE SIGLAS

AI	Alcalinidade Intermediária
AP	Alcalinidade Parcial
AT	Alcalinidade Total
AV	Ácidos Graxos Voláteis
CA	Cama de aviário
CO	Carbono Orgânica
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ES	Efluente de indústria de beneficiamento de carne suína
FAO	Food and Agriculture Organization Of The United Nations
IN	Inóculo
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
pH	Potencial Hidrogeniônico
SF	Sólidos Totais Fixos
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
SV	Sólidos Totais Voláteis
TRH	Tempo de retenção hidráulica
TRH	Tempo de retenção hidráulica
TRS	Tempo de Retenção de Sólidos
UBABEF	União Brasileira de Avicultura

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVO GERAL	15
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1 PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DE AVES DE CORTE NO BRASIL	16
3.2 PRODUÇÃO DE AVES DE CORTE NO OESTE DO PARANÁ	17
3.3 RESÍDUOS NA AVICULTURA DE CORTE, CAMA DE AVIÁRIO	18
3.4 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE CARNE SUÍNA	21
3.5 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA	22
3.5.1 Fatores que Influenciam sobre a Biodigestão	24
3.5.1.1 Isolamento do ar (anaerobiose)	25
3.5.1.2 Macronutrientes e micronutrientes	25
3.5.1.3 Temperatura	27
3.5.1.4 Potencial hidrogeniônico	28
3.5.1.5 Alcalinidade e ácidos graxos voláteis	28
3.5.1.6 Tempo de retenção hidráulica e tempo de retenção de sólidos	28
3.5.1.7 Carga orgânica	29
3.5.1.8 Materiais tóxicos e seu controle	29
3.6 BIODIGESTÃO UTILIZANDO CAMA DE AVIÁRIO	31
3.7 IMPORTÂNCIA DA CODIGESTÃO	32
3.8 REATOR BIOLÓGICO ANAERÓBIO	33
3.9 PRODUÇÃO DE BIOGÁS	34
3.10 BIOFERTILIZANTE	35
4 METODOLOGIA	37
4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	37
4.2 MATÉRIAS PRIMAS	37
4.2.1 Inóculo (IN)	37
4.2.2 Cama de Aviário (CA)	38
4.2.3 Efluente de Indústria de Beneficiamento de Carne Suína (ES)	39
4.3 PLANEJAMENTO FATORIAL	40
4.4 MÓDULO EXPERIMENTAL	42
4.5 ROTINA EXPERIMENTAL	44
4.5.1 Preparo dos Substratos de Alimentação	44
4.5.2 Aclimação	46
4.5.3 Inoculação	47
4.5.4 Adaptação	47
4.5.5 Alimentação Semicontínua	47
4.5.6 Biogás	50
4.5.7 Biofertilizante	51
4.6 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	51
4.6.1 Cromatografia Gasosa	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	55
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO INÓCULO	55
5.2 CARACTERIZAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO E DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE CARNE SUÍNA	57

5.3 ACOMPANHAMENTO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS DOS REATORES.....	61
5.4 FATORIAL 2 ² SEM REPETIÇÕES	68
5.4.1 Análise de Variância.....	72
5.5 QUALIDADE DO BIOGÁS PRODUZIDO	75
5.6 CARACTERIZAÇÃO AFLUENTE/ EFLUENTE	77
5.6.1. Caracterização em Relação aos Sólidos Voláteis (SV).....	77
5.6.2. Caracterização em Relação a Alcalinidade e aos Ácidos Graxos Voláteis ...	78
5.6.3. Caracterização em Relação as Análises Físico-químicas	84
5.6.4. Caracterização em Relação as Análises de Macro e Micronutrientes.....	86
6 CONCLUSÃO	90
REFERÊNCIAS.....	91

1 INTRODUÇÃO

À medida que aumenta a produção nacional de frangos, maiores quantidades de cama de aviário são geradas sendo notória a necessidade eminente de se pensar nas possibilidades de manejo e de destino deste resíduo a fim de minimizar os impactos por ele causados, principalmente pelas elevadas concentrações de carbono orgânico presente no material.

Uma das alternativas é a produção de biogás obtido através da biodigestão anaeróbia da cama de aviário. Devido à vocação agrícola do Brasil, suas condições climáticas e a elevação crescente dos preços dos insumos energéticos, o que torna extremamente cara a utilização de combustíveis de natureza fóssil e de energia hídrica, a geração de biogás, juntamente com outras formas de energia relacionadas à biomassa, pode constituir uma importante alternativa de fornecimento de energia.

A produção de biogás a partir da cama de aviário reduz impactos ambientais, pois atua como tratamento de resíduos, tornando-os estáveis onde os mesmos podem inclusive ser aplicados na agricultura, além de possuir um potencial diferenciado em termos de produção de energia.

A biodegradação da cama de aviário já vem sendo utilizada, porém na maioria dos casos necessitando da adição de água potável. Uma alternativa para melhorar essa degradação é a adição do efluente proveniente da indústria de beneficiamento de carne suína, que pode ser utilizado, devido às grandes quantidades de carboidratos solúveis, proporcionando também um maior crescimento microbiano, aumentando assim a população de microrganismos e conseqüentemente favorecendo a degradação da matéria orgânica e a economia de água potável.

A cama de aviário, pelas suas características, é de difícil degradação por parte das bactérias, principalmente as metanogênicas, sendo necessária a adição de outros resíduos no interior do biodigestor para facilitar tal degradação, evidenciando com isso uma codigestão.

O biogás, composto principalmente por metano e gás carbônico, é o produto final da biodigestão anaeróbia, que utiliza um consórcio de microrganismos para a conversão da matéria orgânica. Vários parâmetros levam a um maior rendimento de metano, aumentando a qualidade do biogás. Estes parâmetros, estruturais, físicos e

químicos variam com a matéria prima de alimentação do sistema de biodigestão, sendo necessária a otimização do processo.

A dificuldade de se produzir biogás a partir do resíduo sólido, cama de aviário, pode ser superada pela sua mistura com outro resíduo líquido, evidenciando uma codigestão. A codigestão se resume na redução do potencial poluidor de dois ou mais resíduos simultaneamente, além de diminuir o consumo de água potável, visto que esta vem sendo utilizada na diluição dos resíduos nos processos de biodigestão.

2 OBJETIVO GERAL

Estudar a codigestão anaeróbia de cama de aviário com o efluente de beneficiamento de carne suína para a produção de biogás, em reatores semicontínuos, em escala de bancada, operado a temperatura ambiente.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Caracterizar o inóculo, a cama de aviário e o efluente de indústria de beneficiamento de carne suína por parâmetros físico-químicos;
- Avaliar o processo de codigestão com cama de aviário e efluente de indústria de beneficiamento de carne suína a partir de um delineamento estatístico fatorial 2^2 sem repetições;
- Avaliar a qualidade do biogás por cromatografia gasosa;
- Caracterizar o biofertilizante dos reatores por parâmetros físico-químicos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 PRODUÇÃO AGROPECUÁRIA DE AVES DE CORTE NO BRASIL

No Brasil, a expansão da produção e consumo de proteínas animais nos últimos vinte anos é, em grande parte, uma consequência do desempenho da indústria de carne de frango. A expansão dessa indústria é explicada pela queda dos preços, promovendo a incorporação de consumidores.

A avicultura brasileira alcançou nos últimos anos níveis de produtividade e ajuste na organização e coordenação que a colocam como uma das mais competitivas do mundo (SAGULA, 2012).

O crescimento da avicultura no Brasil tem demonstrado o desenvolvimento do agronegócio no país, pois a atividade agrícola reúne três elementos do capitalismo: tecnologia de ponta, eficiência na produção e diversificação no consumo. Além disso, tem a vantagem de não depender de fatores sazonais e de permitir a exploração simultânea com outras atividades agropecuárias e ainda contribui decisivamente na evolução do (PIB) brasileiro (VIEIRA; DIAS, 2009).

Segundo o Relatório Anual da UBABEF (2015), a produção de carne de frango chegou a 12,69 milhões de toneladas. Do total da produção de frangos no país, 67,7% foi destinado ao consumo interno, e 32,3% para exportações. Com esses números, atingiu-se um consumo *per capita* de carne de frango, 78 kg/ hab.

O Brasil está entre os cinco países que mais produzem frango sendo que atualmente é o quarto maior produtor (Tabela 1), atrás somente de China, Estados Unidos e Indonésia (FAO, 2015).

Tabela 1 - Ranking de países na produção de frangos - 2014.

País	Produção (bilhões de cabeças)
China	4.539.500,00
Estados Unidos	1.982.900,00
Indonésia	1.923.068,00
Brasil	1.331.054,00
Iran	930.000,00

Fonte: Adaptado Food and Agriculture Organization (2016).

Atualmente a exploração avícola tem se caracterizado pela produção de frango de corte cada vez mais precoce, gerando excessivas quantidades de resíduos de mesma proporção (AIRES, 2009).

3.2 PRODUÇÃO DE AVES DE CORTE NO OESTE DO PARANÁ

O início da avicultura industrial na região Oeste Paranaense remonta década de 1970, com os contratos de integração de avicultores pelas empresas que foram se instalando na região.

A partir da década de 1980, as principais cooperativas agrícolas instaladas na região passaram por uma reestruturação empresarial, especialmente, com a implantação de complexos industriais avícolas, tendo em vista fatores favoráveis: como a disponibilidade de matérias primas para a formulação de ração para as aves; aumento da demanda mundial e nacional por carne de frango; agregação de valor por meio da industrialização de carnes; possibilidades de diversificar as fontes de renda para os produtores de grãos (BELUSSO; HESPANHOL, 2010).

A atividade de abate de frangos, no Oeste Paranaense, congrega elementos suficientes para ser considerada um *cluster* produtivo, pois há nesta atividade um perfil industrial de grande porte (DALMÁS; STADUTO; WILLERS, 2007).

A Mesorregião Oeste Paranaense é uma grande produtora de frangos e constitui o território no qual se destaca a forte presença de indústrias abatedoras.

A avicultura cresceu e se multiplicou, colocando nesse processo o Estado do Paraná na liderança nacional de produção e exportação de carnes de frango (BELUSSO; HESPANHOL, 2010), onde ocupa a primeira posição no *ranking* de abate nacional de frangos por estado, com 32,26% do total de abates em 2014 (UBABEF, 2014).

O crescimento da avicultura nesta região também passa por desafios, sendo um deles a adequação as exigências sanitárias (BELUSSO; HESPANHOL, 2010).

3.3 RESÍDUOS NA AVICULTURA DE CORTE, CAMA DE AVIÁRIO

Junto a intensidade de produção agrícola ocorreu proporcionalmente, uma maior geração de resíduos, estes gerados desde a criação das aves até o abate. Para os resíduos gerados durante o abate das aves, provenientes dos frigoríficos, já existem tecnologias adequadas para o tratamento e eliminação; em contrapartida os oriundos da criação das aves conhecidos como cama de aviário, o produtor é o principal responsável pelo seu destino final, sendo que este deve sofrer um tratamento prévio antes de sua disposição final (SAGULA, 2012).

A cama consiste em ser todo o material distribuído em um galpão ou estábulo para servir de leito aos animais. Mais especificamente chama-se de cama de aviário o material vegetal que distribuído, permanece no piso de uma instalação avícola, que irá receber excreções, restos de ração e penas (AVILA; MAZZUCO; FIGUEREIDO, 1992).

É um substrato que recebe e absorve a umidade das excretas, penas e descamações da pele das aves e restos de alimento que caem dos comedouros, além de auxiliar na redução das oscilações de temperatura no aviário e, conseqüentemente, na melhoria do conforto das aves que de uma forma está associado ao bem-estar animal (VIEIRA, 2011).

Entre os materiais mais comuns que constituem a cama de aviário tem-se a maravalha, o pó de serra, a casca de arroz, o sabugo de milho triturado, as palhadas de culturas em geral e os fenos de gramíneas (ROCCON, 2014).

Estes resíduos são compostos predominantemente por água e carbono (C), com pequenas quantidades de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K) e traços de elementos como cloro (Cl), cálcio (Ca), magnésio (Mg), Sódio (Na), Ferro (Fe), Cobre (Cu), Zinco (Zn) e Arsênio (Ar) (KELLEHER et al., 2002).

As características físico-químicas do resíduo variam conforme o material disposto como cama, alimentação das aves e número de lotes criados sobre o resíduo. Zwieten et al. (2013) publicaram a caracterização da cama de aviário conforme o resumo da Tabela 2.

Tabela 2 - Características da cama de aviário.

Características do resíduo cama de aviário	
Carbono (%)	37
Nitrogênio (%)	3,1
Fósforo (%)	1,8
Potássio (%)	1,7
Enxofre (%)	0,66
Valor calorífico(MJ.Kg ⁻¹)	17,4
pH	6,7
Al (%)	0,07
As (mg.kg ⁻¹)	<5
B (mg.kg ⁻¹)	27
Ca (%)	2,6
Cd (mg.kg ⁻¹)	<0,3
Co (mg.kg ⁻¹)	2
Cr (mg.kg ⁻¹)	14
Cu (mg.kg ⁻¹)	160
Fe (%)	0,18
Mg (%)	0,64
Mn (mg.kg ⁻¹)	540
Mo (mg.kg ⁻¹)	5,2
Na (%)	0,4
Ni (mg.kg ⁻¹)	8,2
Pb (mg.kg ⁻¹)	1,9
Se (mg.kg ⁻¹)	<4

Fonte: Zwieten et al., (2013).

Por apresentar alto teor de matéria seca, a cama de aviário exige dissolução em água da ordem de 1:10 o que acaba gerando um grande desperdício da mesma, então faz-se necessário estudos referentes a codigestão de resíduos e efluentes.

Cada vez mais o nível de poluição causado pela cama de aviário vem aumentando, pois devido ao grande aumento no custo dos produtores, estes optam por reutilizar a cama, sendo que há uma variação de reutilização de oito a doze ciclos de criação das aves, obtendo-se, ao final, grande quantidade de cama de aviário, tornando-se problema seu destino final. Até o ano de 2000, este resíduo era utilizado como fonte de alimento para o gado, e outros animais ruminantes sendo, até então, uma prática muito difundida e incentivada no país, porém, esta prática foi proibida em 2001 pela Instrução Normativa nº15 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), como uma das medidas preventivas para se evitar no país os riscos potenciais da Encefalopatia Espongiforme Bovina ou “doença da vaca louca”. No entanto, o uso da cama de aviário para adubação das pastagens é permitido, desde que respeitado o intervalo de 40 dias da aplicação até a entrada do animal (SAGULA, 2012).

Com a proibição de utilizar a cama de aviário como alimento para animais ruminantes, muitos produtores, utilizam-na como fertilizante do solo, sendo desejável economicamente, uma vez que apresenta um recurso interno da propriedade rural, no entanto se os resíduos, forem dispostos sem tratamento prévio, podem gerar excessos de nutrientes comprometendo a qualidade do solo e da água, com contaminação dos mananciais pelos microrganismos, toxidade a animais e plantas. Deste modo, fica evidente a necessidade de desenvolvimento de tecnologias mais limpas com perspectivas de mitigar o meio ambiente e a produção de tais resíduos (AIRES, 2009).

O direcionamento para cada uma dessas situações depende exclusivamente do manejo adotado que, quando bem conduzido, permite o aproveitamento quase que integral dos resíduos dentro das condições estabelecidas em cada propriedade (SANTOS, 2000).

Salminen e Rintala (2002) realizaram levantamento sobre os potenciais de geração de metano a partir dos resíduos de abatedouros e da criação de aves e ressaltaram a importância do aproveitamento desses resíduos com um potencial de: $0,05 \text{ m}^3$ de CH_4 .kg de cama de aviário.

Diversos autores já realizaram análises sobre a quantidade de cama de aviário gerada por cada ave e os resultados são diferentes por dependerem de tantos fatores. Segundo Angelo et al. (1997) cada frango produz 2,12 kg de cama. Ortolani e Brito (2001) chegaram a um valor de 2,6 kg/ave. Santos e Lucas Jr. (2003), também citaram um valor semelhante, 2,19 kg/ave. Já, Edwards e Daniel (1992) estimaram que cada frango produz 1,46 kg de cama. Os autores que chegaram a um valor ainda mais baixo foram Bellaver e Palhares (2003) que concluíram que é gerado 1,3 kg de cama/ave.

Considerando-se a produção média de cama de 2,19 kg por frango de corte na matéria natural (MN), e a produção de frango de corte no Brasil em 2014 de 1,248 bilhões, estima-se que a produção de cama tenha sido aproximadamente 2,7 bilhões de quilogramas de cama de aviário.

Com base nas características quantitativas e qualitativas e pelo alto potencial de emissão de gases de efeito estufa dos dejetos de aves, torna-se evidente a necessidade de um tratamento que atue sobre cada um desses pontos. A biodigestão anaeróbia pode ser utilizada nesse tratamento, pois além de reduzir o poder poluente, e os riscos sanitários dos dejetos, tem como subprodutos o biogás (gás inflamável) e

o biofertilizante (líquido organo-mineral estabilizado) (PLAIXATS; BARCELO; GARCIA-MORENO, 1998).

A partir do início do século XXI, de acordo com a base de dados Science Direct, a biodigestão da cama de aviário vem sendo estudada.

3.4 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE CARNE SUÍNA

O agronegócio representa grande importância para a economia do país, considerando principalmente seu potencial na geração de empregos e de renda. A ampliação na produção do setor de beneficiamento de carne suína tem sido contínua, promovendo o desenvolvimento do mercado interno e ampliando as possibilidades de exportação (LOURENÇO E LIMA, 2009).

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística no segundo trimestre de 2014 foram abatidos no Brasil o equivalente a 9,151 milhões de cabeças de suínos, totalizando 797.707 toneladas de carcaça. Neste período, o estado do Paraná foi responsável pelo abate de 1,594 milhões de cabeças, equivalendo a um montante de 146.469 toneladas (IBGE, 2014).

Analisando os números apresentados e considerando o desenvolvimento constante da cadeia produtiva de suínos, um aumento na produtividade e industrialização acarreta um maior consumo de recursos naturais e conseqüentemente uma maior geração de resíduos sólidos e efluentes líquidos.

De acordo com Braile e Cavalcanti (1993) os despejos de abatedouros e frigoríficos são caracterizados pela presença de sólidos em suspensão, matéria orgânica (DBO e DQO), nitrogênio orgânico, material flotável, graxas e sólidos sedimentáveis que variam em função do grau de reaproveitamento de resíduos e dos cuidados na operação.

3.5 BIODIGESTÃO ANAERÓBIA

Os processos biológicos de tratamento podem ser aeróbios ou anaeróbios. Os processos anaeróbios formam produtos finais que ainda possuem grande conteúdo energético, e que, portanto, podem ser usados como fonte de energia (CH_4 , álcool, etc) (BORZANI et al., 2001).

Na natureza existem vários ambientes favoráveis, para digestão anaeróbia, sendo representados pelos pântanos, estuários, mares e lagos, usinas de carvão e jazidas petrolíferas, sendo que os mesmos possuem concentrações baixas de oxigênio, facilitando o processo de anaerobiose (PRATI, 2010).

A biodigestão anaeróbia consiste em complexas reações bioquímicas, realizadas por meio de um consórcio de microrganismos, em ambientes isentos de oxigênio livre, onde a matéria orgânica é convertida em metano e gás carbônico (biogás) (BORZANI et al., 2001).

O processo global de conversão da matéria orgânica complexa em CH_4 e CO_2 pode ser dividido em quatro passos: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (APPELS et al., 2011, CHERNICHARO, 1997).

Hidrólise - consiste na hidrólise de materiais particulados complexos (polímeros), em materiais mais simples e assim podem passar pelas paredes celulares das bactérias fermentativas (CHERNICHARO, 1997).

Acidogênese - as bactérias fermentativas acidogênicas consomem os compostos orgânicos simples, produto oriundo da hidrólise e transforma-os em ácidos orgânicos (propionato, butirato, etc). Estes produtos metabólicos serão a base do consumo das bactérias acetogênicas e arqueias metanogênicas (CHERNICHARO, 1997).

Acetogênese - as bactérias acetogênicas são responsáveis pela oxidação dos ácidos orgânicos em substrato para os microrganismos metanogênicos (CHERNICHARO, 1997).

Metanogênese - esta etapa final do processo de conversão anaeróbia de compostos orgânicos em metano e dióxido de carbono é efetuada pelos microrganismos metanogênicos (CHERNICHARO, 1997). As arqueias metanogênicas atuam sobre os produtos gerados nas etapas anteriores, sendo que as arqueias metanogênicas acetoclásticas são responsáveis pela produção de aproximadamente

60 a 70% de metano do processo, tendo como fonte de energia o grupo metil do ácido acético para produzir metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2) a partir dos seus metabolismos, e a rota das arqueias metanogênicas hidrogenotróficas que produzem cerca de 30% do metano do processo, usando hidrogênio como fonte de energia e gás carbônico (CO_2) como acceptor de elétrons, resultando na maior liberação de energia e formando metano a partir dessa reação (CHERNICHARO, 1997).

Como produto final de toda esta atividade anaeróbia é gerado o biogás, caracterizado por ter os seguintes gases na sua composição: metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), oxigênio (O_2), nitrogênio (N_2) e outros gases. O biogás é caracterizado como um gás inflamável oriundo da degradação da matéria orgânica por microrganismos. Na Figura 1, estão representadas as rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.

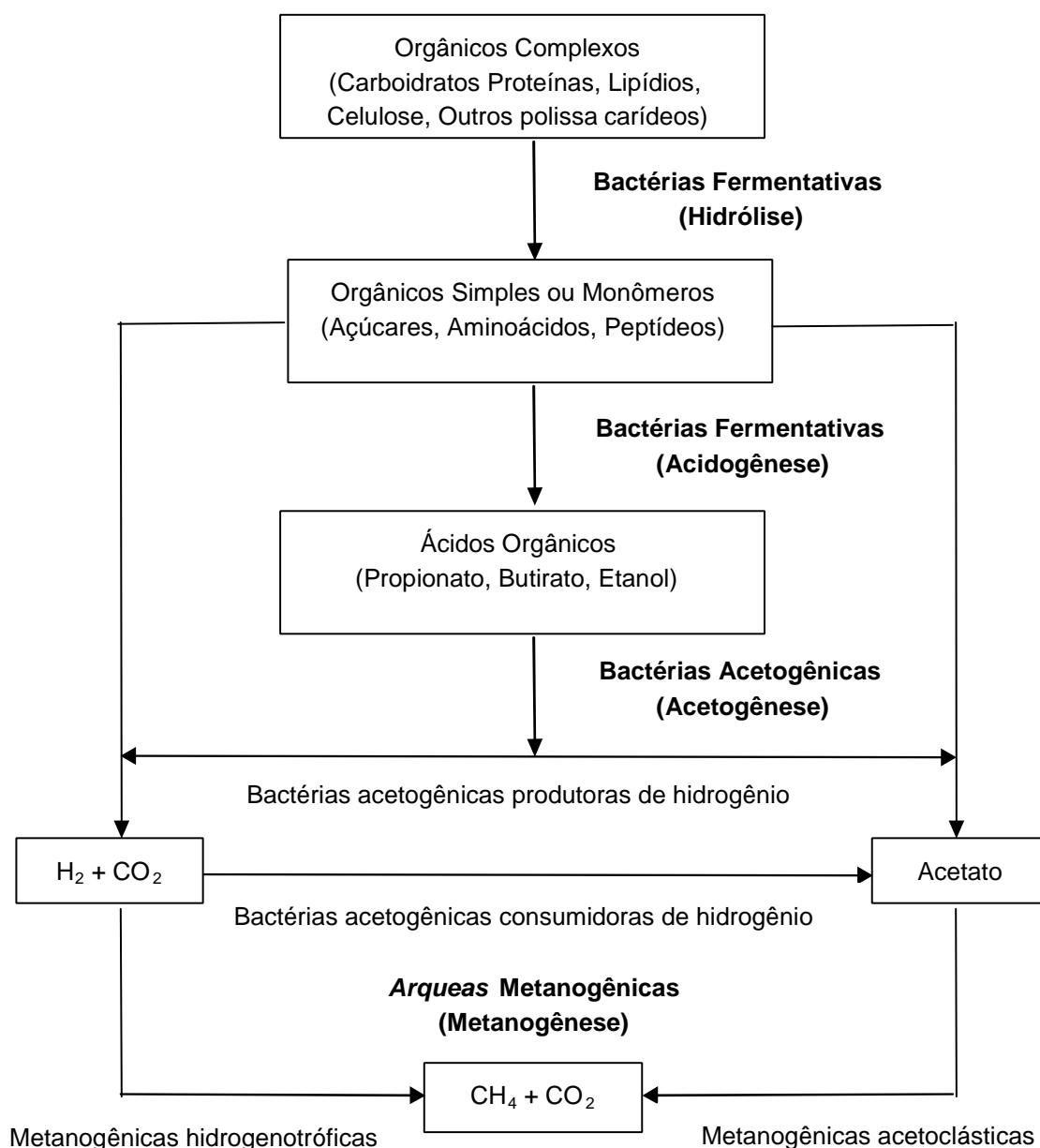


Figura 1 - Sequências metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia.
 Fonte: Adaptado de Chernicharo (1997) e Zaher et al. (2007).

3.5.1 Fatores que Influenciam sobre a Biodigestão

Condições nutricionais, físicas e químicas proporcionam a seleção e crescimento dos organismos mais adaptados com o ambiente, os quais por sua vez, podem variar rápida e frequentemente devido a mudanças no suprimento de nutrientes ou nas condições físicas. A digestão anaeróbia é particularmente suscetível

a um controle rigoroso das condições ambientais, uma vez que o processo requer uma interação das bactérias fermentativas e metanogênicas, sendo as últimas mais vulneráveis a mudanças (CHERNICHARO, 1997).

O sucesso do processo de biodigestão anaeróbia depende, portanto, de condições ambientais específicas (nutrientes, temperatura, tempo de retenção hidráulica suficiente e outros) para que as diferentes populações de microrganismos possam crescer e se multiplicar (SINGH; SINGH, 1996); (HAMMAD; BADARNEH; TAHBOUB, 1999); (YADVIKA et al., 2004).

3.5.1.1 Isolamento do ar (anaerobiose)

Dentre as atividades biológicas dos microrganismos nenhuma etapa, inclusive, seu desenvolvimento, reprodução e metabolismo, exigem oxigênio, e os mesmos são muito sensíveis a presença deste. A decomposição de matéria orgânica na presença de oxigênio produz dióxido de carbono (CO_2); na ausência de ar (O_2) produz metano. Se o biodigestor não estiver perfeitamente vedado a produção de biogás é inibida (SUZUKI, 2012).

3.5.1.2 Macronutrientes e micronutrientes

A estimulação nutricional das bactérias metanogênicas é dada pelos seguintes nutrientes em ordem crescente de importância: nitrogênio, enxofre, fósforo, ferro, cobalto, molibdênio, selênio, riboflavina e vitamina B12 (CHERNICHARO, 1997).

Geralmente os requisitos de nutrientes dos microrganismos são determinados com base na composição empírica das células microbianas, dessa forma de acordo com Lettinga et al. (1996) as bactérias metanogênicas necessitam dos macros e micronutrientes listados na Tabela 3.

Tabela 3 - Composição das bactérias metanogênicas.

Macronutrientes		Micronutrientes	
Elemento	Concentração (mg.kg SST ⁻¹)	Elemento	Concentração (mg.kg SST ⁻¹)
Nitrogênio	65	Ferro	1.800
Fósforo	15	Níquel	100
Potássio	10	Cobalto	75
Enxofre	10	Molibidênio	60
Cálcio	4	Zinco	60
Magnésio	3	Manganês	20
		Cobre	10

Fonte: Chernicharo, (1997).

Para que os processos biológicos de tratamento sejam operados com sucesso, os nutrientes necessários ao seu crescimento devem ser fornecidos em quantidades suficientes.

O nitrogênio é o nutriente inorgânico requerido em maiores concentrações. Em condições anaeróbias, o nitrogênio nas formas nitrito e nitrato não se encontra disponível para crescimento bacteriano, uma vez que este é reduzido a nitrogênio gás e liberado na atmosfera. As fontes de nitrogênio são a amônia e a porção de nitrogênio orgânico liberado durante a degradação. A estimativa dos requisitos de nutrientes, como é o caso do nitrogênio, na maioria das diretrizes contidas na bibliografia especializada refere-se à suplementação de nutrientes com base na DQO (CHERNICHARO, 1997).

Para uma melhor digestão, a razão carbono/nitrogênio (C/N) ótima deve ser de cerca de 20:1- 30:1 no substrato (LI Y, 2011).

No caso de altas taxas de C/N as metanogênicas consomem o N rapidamente resultando em menor rendimento do biogás. Por outro lado, baixas taxas de C/N provocam o acúmulo de amônia aumentando o valor do pH, e assim, inibindo as bactérias metanogênicas (KOTHARI et al., 2014). O efeito de inibição de amoníaco pode ser controlado através da diluição com água.

A maioria dos esterco de animais possuem baixa relação C/N, isso por que possuem uma grande quantidade de nitrogênio que deve ser corrigido com resíduos vegetais como palhas, sabugos, serragem, etc., para atingir o ponto ideal.

A incorporação de fósforo no substrato deve ser de aproximadamente 1/5 a 1/7 da concentração de nitrogênio, e tem como fonte ortofosfatos inorgânicos (CHERNICHARO, 1997).

O enxofre é necessário para a síntese de proteínas. A maioria das bactérias metanogênicas utiliza o sulfeto como fonte de enxofre, embora algumas possam utilizar a cisteína. Em geral, a concentração de sulfato nos resíduos é suficiente para prover a quantidade necessária ao crescimento bacteriano, que é requerido em quantidades relativamente pequenas, devido ao baixo conteúdo de enxofre presente na composição das células microbianas. As necessidades de enxofre são da mesma magnitude das de fósforo. O enxofre é o caso do composto que passa de concentrações ideais a tóxicas, dentro de uma pequena faixa, o sulfeto serve como fonte de enxofre, e pode ser reduzido a sulfato levando à produção de biogás com H_2S (CHERNICHARO, 1997). Quanto maior a concentração de sulfatos maior será a concentração de sulfeto no gás metano.

Além dos nutrientes, há a necessidade de micronutrientes, entre os principais, ferro, cobalto, níquel e molibidênio, que são precipitados na presença de sulfetos. (CHERNICHARO, 1997).

3.5.1.3 Temperatura

Os microrganismos não possuem meios de controlar sua temperatura interna e, dessa forma, a temperatura no interior da célula é determinada pela temperatura ambiente externa. Os microrganismos anaeróbicos podem crescer em diferentes faixas de temperatura: psicrófila (0-20°C), mesófila (20-45°C) e termófila (45-70°C) (CHERNICHARO, 1997). Por questões econômicas, a biodigestão vem sendo realizada na faixa mesófila, contudo, de acordo com Appels et al. (2011) falhas no processo podem ser obtidas quando mudanças de temperatura excedem $1^{\circ}C.d^{-1}$, e as alterações de temperatura devem ser inferior a $0,6^{\circ}C.d^{-1}$ para manter a digestão estável.

Os efeitos da temperatura externamente as células bacterianas também são importantes pois afetam diretamente no grau de dissociação de diversos compostos e também na termodinâmica das reações, isso faz com que seja preciso assegurar uma relativa estabilidade de temperatura (CHERNICHARO, 1997).

3.5.1.4 Potencial hidrogeniônico

Mudanças no pH do meio afetam sensivelmente as bactérias envolvidas no processo de digestão. As bactérias metanogênicas trabalham de forma eficaz entre a faixa de pH 6,5-8,2, com pH ótimo de 7,0 (YANG et al., 1987). Embora tenha sido demonstrado que a gama ideal de pH para a obtenção de rendimento máximo de biogás é de 6,5-7,5 (LIU C. et al., 2008).

O pH varia devido a diversos parâmetros, tais como a concentração de ácidos graxos voláteis (AV), concentração de bicarbonato, e alcalinidade do sistema e também pela percentagem de CO₂ produzida durante o processo (CHERNICHARO, 1997). Quando acumulados no sistema, os AV provocam a diminuição do pH (PALACIO-BARCO et al., 2010). Na faixa de 6,0 a 7,5 a capacidade de tamponamento do sistema é dependente da relação CO₂ / Alcalinidade.

3.5.1.5 Alcalinidade e ácidos graxos voláteis

A alcalinidade tem a capacidade em neutralizar os ácidos formados no processo e também em tamponar o pH na eventualidade de acumulação de ácidos graxos voláteis. Tanto a alcalinidade como os AV derivam da decomposição de compostos orgânicos durante a digestão. A degradação de carboidratos e álcoois não produzem alcalinidade. A suplementação de alcalinidade bicarbonato pode ser feita por adição de NaHCO₃ e NaOH (CHERNICHARO, 1997).

3.5.1.6 Tempo de retenção hidráulica e tempo de retenção de sólidos

O TRH é entendido como o intervalo de tempo necessário de permanência do afluente para que ocorra o processo de biodigestão de maneira adequada. O TRM e TRS são os tempos de permanência dos microrganismos e dos sólidos no interior dos biodigestores, sendo esses tempos expressos em dias. De forma resumida pode-se

dizer que altas produções de metano são conseguidas, satisfatoriamente, com longos TRH e TRS (FUKAYAMA, 2008).

Kothari et al. (2014) relata um TRH de 10 a 40 dias para biodigestão em condições mesofílicas. Resíduos compostos por celulose e hemi-celulose exigem maior TRH (KOTHARI et al., 2014).

Um menor tempo de retenção hidráulica é conseguido com uma população elevada das bactérias responsáveis pelo processo. Isso pode ser conseguido retendo-as dentro do biodigestor (filtros), ou deixando-as que saiam e retornem (decantador com retorno do lodo) (BORZANI et al., 2001).

3.5.1.7 Carga orgânica

A carga orgânica (CO) é definida como a capacidade do sistema em converter biologicamente a matéria orgânica alimentada no reator (expressa em DQO ou SV por volume do reator). O valor de CO é muito importante, principalmente em sistemas contínuos e semicontínuos, podendo ocorrer falhas no processo de biodigestão devido à sobrecarga. A sobrecarga de matéria orgânica pode levar à acumulação de substâncias inibitórias.

A quantidade de carga orgânica total a ser alimentada no reator vai depender do reator utilizado, dos parâmetros de temperatura, pH e principalmente da composição do resíduo. Estudos realizados por Bujoczek et al. (2000) apenas com dejetos de frango, apontaram sucesso na biodigestão com 10% de ST. Kothari et al. (2014) apontaram 2-15% de ST para serem alimentados em reatores contínuos.

3.5.1.8 Materiais tóxicos e seu controle

Materiais poluentes, como NaCl, Cu, Cr, NH₃, K, Ca, Mg e Ni, são conciliáveis se mantidos abaixo de certas concentrações diluídas em água, por exemplo.

A amônia formada durante a biodegradação pode existir na forma de amônia (NH₄⁺) e amônia livre (NH₃). Trata-se de um nutriente essencial para o crescimento

bacteriano, mas em altas concentrações é tóxica, principalmente as bactérias metanogênicas acetoclásticas, levando a falhas da digestão em concentrações de $1,7 - 1,8 \text{ g.L}^{-1}$ de NH_4^+ (YENIGUN et al., 2013; CHEN et al., 2008). Alguns autores Wang et al. (2012), Wang et al. (2013) acreditam que a amônia pode enriquecer a capacidade tampão do sistema neutralizando os ácidos graxos voláteis (AGVs) formados.

Estudos demonstram que a concentração de amônia livre acima de 150 mg/L é tóxica às bactérias metanogênicas, enquanto que o limite máximo de segurança para o íon amônia é da ordem de 3000 mg/L (CHERNICHARO, 1997).

A inibição pelo sulfeto é dependente da concentração de sulfeto de hidrogênio (H_2S) não dissociado no meio e do pH. Para uma relação $\text{DQO}/\text{SO}_4 > 10$, não ocorrerão problemas de toxicidade. Concentrações na ordem de 50 a 100 mg/L podem ser toleradas sem nenhuma aclimação do sistema (CHERNICHARO, 1997).

Metais como Na, K, Mg, Ca, e metais pesados como Cr, Cu, Zn, Ni são requeridos pelas bactérias anaeróbias porque seus cátions desempenham um papel importante na síntese enzimática bem como na manutenção de suas atividades (SCHATTAUER et al., 2011; FACCHIN et al., 2013). Chen (2008) reporta a concentração ótima de 350 mg.L^{-1} de Na para as metanogênicas hidrogenotróficas, e no geral concentrações menores que 400 mg.L^{-1} . Yu et al. (2001) apontaram uma concentração ótima de Ca na faixa de $150-300 \text{ mg.L}^{-1}$.

Elementos e compostos tóxicos como cromo, cromatos, níquel, zinco, cobre, arsênio e cianetos, dentre outros são classificados como toxinas inorgânicas altamente tóxicas (CHERNICHARO, 1997), no entanto a maioria dos substratos possuem níveis insuficientes de metais pesados, levando a pesquisas de biodigestão com enriquecimento de metais no substrato (ZHANG et al., 2013; BANKS et al., 2012). Na presença de sulfetos os metais pesados são precipitados, sem efeito adverso sobre o tratamento anaeróbio.

Estes valores podem ser mais elevados desde que a biomassa passe por um sistema de adaptação.

3.6 BIODIGESTÃO UTILIZANDO CAMA DE AVIÁRIO

Salminen e Rintala (2002) estudaram e analisaram o potencial da digestão anaeróbia para a recuperação de materiais e produção de energia a partir de subprodutos da criação de frango e ressaltaram a importância do aproveitamento desses resíduos, devido ao seu potencial de produção de biogás.

Por se tratar de um resíduo bastante seco, a utilização da cama de aviário necessita da diluição em água, inviabilizando o processo. Para contornar este problema, pesquisas na área de codigestão anaeróbia estão sendo realizadas.

Aires (2009), estudou a utilização da cama de aviário reutilizada diluída em água em sistema de biodigestão contínuo e com separação de sólidos, obteve valor de 1,441 m³ de biogás.d⁻¹.

Sagula (2010) realizou estudos da biodigestão anaeróbia de cama de aviário em codigestão com caldo de cana-de-açúcar e concluiu que a inclusão de caldo de cana, no processo de biodigestão anaeróbia da cama de aviário, foi eficaz para a produção de biogás. A inclusão de 7% de caldo no substrato permitiu os maiores potenciais para a produção de biogás.

Suzuki (2012) estudou a codigestão de cama de aviário e manipueira realizada em reatores de fluxo hidráulico descontínuo (batelada) e com ele alcançou objetivos nos experimentos que apresentaram uma maior produção de biogás por dia sendo que os tratamentos que possuíam uma maior porcentagem de cama de aviário em sua mistura produziram resultados satisfatórios.

Outros estudos também relatam a utilização da cama de frango como substrato para biodigestão anaeróbia (RIVERA et al., 2014; GANGAGNI RAO et al., 2011, SINGH et al., 2011). Sharma, Espinosa-Solares e Huber (2013) estudaram a codigestão anaeróbia da cama de aviário misturada com vinhaça.

Com o sistema de biodigestão anaeróbia da cama de aviário, o produtor produz energia elétrica a baixo custo, recicla o material residual da sua granja e contribui para a diminuição dos impactos ambientais gerados no processo de produção.

A biodigestão anaeróbia da cama de aviário ainda precisa ser otimizada a fim de se obter dados com maiores concentrações de metano.

Uma possível otimização para obtenção de maior produção de biogás, pode estar relacionada ao processo de codigestão, que têm como objetivo buscar sinergia ou antagonismo entre dois ou mais substratos codigeridos (FERNÁNDEZ, 2005).

3.7 IMPORTÂNCIA DA CODIGESTÃO

A codigestão é um consórcio de um resíduo orgânico com outros resíduos que podem ser ricos em carboidratos ou microrganismos, como o efluente de indústria de beneficiamento de carne suína, vinhaça, esterco bovino, de aviário entre outros. Esta mistura faz com que ocorra a melhora das características de composição dos resíduos a fim de facilitar a biodigestão. Resumidamente o termo codigestão é usado para descrever o tratamento combinado de resíduos com várias características complementares, sendo uma das principais vantagens da tecnologia anaeróbia (FERNÁNDEZ, 2005).

O processo de codigestão anaeróbia é o tratamento simultâneo de duas ou mais substâncias biodegradáveis pela biodigestão anaeróbia. A utilização de cosubstratos geralmente melhora o rendimento de biogás do biodigestor devido ao positivo sinergismo estabelecido no meio da biodigestão fornecendo os nutrientes em falta (ALVAREZ; LIDÉN, 2008).

A técnica de codigestão permite a utilização de instalação existente, aumentando a produção de biogás e da energia produzidas nas unidades de cogeração, com isso não se tem custo com novas instalações (GÓMEZ et al., 2006).

A codigestão acontece no interior do biodigestor (reator biológico) que é, um sistema primordial, para o tratamento dos resíduos agropecuários, contribuindo para a preservação do meio ambiente devido à reciclagem de dejetos e resíduos orgânicos poluentes (DEGANUTTI et al., 2002).

3.8 REATOR BIOLÓGICO ANAERÓBIO

Reator biológico anaeróbio pode ser definido como sendo uma câmara na qual ocorre um processo bioquímico denominado biodigestão anaeróbia, que tem como resultante o biofertilizante e o biogás, composto principalmente de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) (PRATI, 2010).

Os reatores podem ser classificados em reatores contínuos ou batelada (FOGLER, 2009). Os reatores da biodigestão anaeróbia também podem ser classificados de acordo com os estágios, como de simples estágio ou multiestágios. Tradicionalmente são utilizados reatores de único estágio, o de múltiplos estágios vem sendo desenvolvido para separar as fases acidogênica e metanogênicas (KOTHARI et al., 2014).

Alguns autores afirmam que o desempenho dos digestores anaeróbicos de dois estágios é mais eficiente do que os digestores fase única (BATTIMELLI et al., 2009; PALMOWSKI et al., 2006; LISSENS et al., 2001). Muitos outros investigadores Borja et al. (2003); Ong et al. (2000); Viturtia-Mtz et al. (1995) relataram que uma única fase é muito melhor do que dois digestores especialmente para os resíduos protéicos.

Reatores de multiestágio estão sendo utilizados para propiciar um pré-tratamento do substrato facilitando a etapa de hidrólise. Os pré-tratamentos podem ser mecânicos, térmicos, químicos, biológicos, codigestão (KRISHNA et al., 2014).

Os reatores de alta taxa são empregados quando se trabalha a questão da alimentação com elevada carga orgânica, sendo que os mesmos se caracterizam pela capacidade de reter grandes quantidades de biomassa, com elevada atividade, apresentando baixos tempos de retenção hidráulica. Os reatores anaeróbios de leito fixo são caracterizados pela presença de um material de empacotamento estacionário, no qual os sólidos biológicos podem aderir ou ficar retidos nos interstícios. A massa de microrganismos aderida ao material suporte, ou retida em seus interstícios, degrada o substrato contido no fluxo. A desvantagem do reator é que pode haver entupimento ou formação de caminhos preferenciais (LIU, 2007; CHERNICHARO, 1997).

3.9 PRODUÇÃO DE BIOGÁS

O biogás é o nome comum dado à mistura gasosa produzida durante a biodegradação anaeróbia da matéria orgânica (RUIZ et al., 1992; CAMARERO et al., 1996; GARBA, 1996; LASTELLA et al., 2002; YADVIKA et al., 2004). O biogás é, junto com o biofertilizante, um excelente subproduto para agregar valor na reciclagem de resíduos por biodigestão anaeróbia.

Segundo Ruiz et al. (1992) na forma como é produzido, o biogás é constituído basicamente de 60 a 70% de metano (CH_4) e 30 a 40% de dióxido de carbono (CO_2), além de traços de Oxigênio (O_2), Nitrogênio (N_2), Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), entre outros gases. Dependendo da eficiência do processo, influenciado por fatores como pressão e temperatura durante a fermentação, o biogás pode conter entre 40% e 80% de metano. Miranda (2005) e Orrico Junior (2008), encontraram valores de 65,7 % e 66,5 % de metano em biodigestores abastecidos com dejetos de suínos, Santos (2001), trabalhando com cama de aviário chegou a concentração de 80 % por volta dos 61 e 80 dias após os abastecimentos.

O biogás é considerado um biocombustível, que pode ser obtido natural ou artificialmente. Como os outros combustíveis, este também é inflamável quando colocado sob pressão (ROYA, et al., 2011).

O biogás apresenta grandes vantagens sobre outras formas de obtenção de energia e também agrega ganhos ambientais por meio da troca de um combustível não renovável por um renovável. O metano por ser 21 vezes mais poluente do que o dióxido de carbono é considerado de grande contribuição para o efeito estufa, desta forma o armazenamento e posterior queima deste gás gera menor impacto a camada de ozônio.

Utilizando-se biogás ao invés de se utilizar lenha há uma enorme contribuição no combate ao desmatamento, tem-se também a substituição dos derivados combustíveis a base de petróleo o que pode economizar com a ausência de gastos no transporte de bujões de gás. No meio rural, o biogás pode e deve contribuir para uma melhoria considerável na qualidade de vida nessas regiões.

Do ponto de vista sanitário, o uso de biodigestores para coleta de dejetos humanos e animais, pode ajudar ou até mesmo sanar os problemas de saúde pública oriundos desses dejetos carregados de microrganismos parasitas. (ROYA, et al., s/d).

A composição global do biogás produzido durante a digestão anaeróbia varia de acordo com as condições ambientais atuantes sobre o biodigestor. Esta composição altera-se rapidamente durante o período de partida do sistema e também quando o processo de digestão é inibido. Para biodigestores operando de maneira estável, a proporção de gás carbônico em relação ao metano pode variar substancialmente, dependendo das características do composto orgânico a ser degradado (CHERNICHARO, 1997). O volume de biogás produzido por unidade de peso de matéria orgânica é variável, e depende de diversos fatores como temperatura, alimentação, manejo, tipo de biodigestor e, fundamentalmente, tipo de material orgânico empregado (Tabela 4).

Tabela 4 - Valores da produtividade de biogás.

Material	Produtividade (m³.kg⁻¹)
Esterco de bovino leiteiro "in natura"	0,08
Cama de aviário	0,11
Cama de galinha poedeira (galpão convencional)	0,35
Esterco de suínos	0,03
Esterco de caprinos	0,05

Fonte: Adaptado de Augusto et al., (2008).

3.10 BIOFERTILIZANTE

O biofertilizante é um produto bioestabilizado, rico em nutrientes e matéria orgânica, sendo, portanto, um material possível de utilização como fertilizante, em substituição aos químicos utilizados. A alta qualidade do biofertilizante é devida, principalmente, à redução do teor de carbono e aumento do teor de nitrogênio do material, além da maior facilidade de utilização do biofertilizante pelos microrganismos do solo em função do elevado grau de decomposição (OLIVER et al., 2008). Porém, a classificação como biofertilizante é dependente das características bioquímicas das matérias primas de modo que, se apresentarem elevados níveis de nutrientes, possam gerar produtos com características de adubos orgânicos (MORENO, 2011).

Os biofertilizantes possuem compostos bioativos, resultantes da biodigestão de compostos orgânicos de origem animal e vegetal. Em seu conteúdo são

encontradas células vivas ou latentes de microrganismos de metabolismo aeróbio, anaeróbio e fermentação (bactérias, leveduras, algas e fungos filamentosos) e também metabólitos e quelatos organominerais em solutos aquosos. Sua qualidade é em função, principalmente, do tipo de substrato e da maneira com que se desenvolve o processo a que determinado substrato é submetido (MEDEIROS; LOPES, 2006).

Segundo Vieira (2011) o biofertilizante pode ser aproveitado, de maneira muito eficiente, como fertilizante para realizar adubações de lavouras, por possuir características minerais adequadas para o desenvolvimento das plantas. Segundo o autor, pode-se dizer que as características desse produto o tornam o substituto ideal para os adubos químicos, os quais podem ser prejudiciais à saúde do homem pelo fato de deixarem resíduos tóxicos no solo e nas plantas. A aplicação do biofertilizante nas lavouras pode ser realizada pelo processo de fertirrigação, por meio da aspersão, ou a lanço, com o uso de veículos e tanques apropriados (chorumeiras mecanizadas).

O biofertilizante representa a adição de microrganismos e seus metabólitos e de compostos orgânicos e inorgânicos com efeito sobre a planta e sua população epifítica, quando pulverizada na parte aérea (MORALES, 2006). De acordo Santos e Akiba (1996), os metabólitos são compostos de proteínas, enzimas, antibióticos, vitaminas, toxinas, fenóis, ésteres e ácidos, inclusive de ação fito hormonal produzidos e liberados pelos microrganismos.

De acordo com Lucas Jr (1994), a grande vantagem do tratamento de resíduos de origem agrícola e animal, é o estímulo à reciclagem controlada do material orgânico, pelo que ela representa em termos de seu enfoque relacionado à produção de biogás, biofertilizante e ao saneamento ambiental, reduzindo o número de sementes viáveis de plantas daninhas e o número de patógenos, em relação a resíduos de animais não tratados.

O aproveitamento de resíduos produzidos pelo meio rural ou agropecuário em processos como a biodigestão anaeróbia é eficiente para o manejo sanitário e para atender as exigências do licenciamento ambiental necessário para que produtores e agroindústrias permaneçam em suas atividades. Além de representar uma importante ferramenta para o manejo da fertilidade do solo a aplicação do biofertilizante, tem sido considerado como um excelente adubo orgânico.

4 METODOLOGIA

4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

A operação dos biodigestores ocorreu em laboratório no município de Medianeira-PR Latitude, 25°17'40" Sul e Longitude, 54°05'30" Oeste. As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento Ambiental da Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Câmpus Cascavel e também nos Laboratórios de Saneamento da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Medianeira.

4.2 MATÉRIAS PRIMAS

4.2.1 Inóculo (IN)

O inóculo foi coletado de um biodigestor em operação (Figura 2a), alimentado com cama de aviário e dejetos bovinos (Figura 2b), acondicionado em frascos de plástico, preenchidos completamente para evitar o contato com o ar, desde já, promovendo apenas o desenvolvimento de microrganismos anaeróbios. O inóculo imediatamente foi enviado para o laboratório onde foi aclimatado à 35°C, em banho- maria, conforme descrito na seção 3.5.2.

O inóculo foi caracterizado antes (ST, SV, SF, SST, SSV, SSF e pH) e depois da aclimação (ST, SV, SF, SST, SSV, SSF, pH, COT, N, P, S, micro e macronutrientes).



Figura 2 - (a) Biodigestor em operação; (b) Misturador alimentação do biodigestor.

4.2.2 Cama de Aviário (CA)

A matéria prima principal utilizada como substrato foi a cama de aviário, composto de maravalha, serragem, dejetos de frango e restos de penas, relativo à 11 lotes de criação, obtido de aviário localizado no município de Medianeira.

Neste aviário, o sistema de criação de frango de corte, é intensivo, visando a engorda de frangos entre 2,7 kg em 42 dias até 3,1 kg a cada 45 dias, e em média mais 10 dias de intervalo, entre os lotes, para preparação do aviário para receber o próximo lote. A mesma cama pode ser utilizada no máximo por 15 lotes.

A cama de aviário (Figura 3a) coletada em diferentes pontos do aviário (Figura 3b) foi acondicionada em sacolas plásticas e congeladas até o momento de uso (Figura 3c). A CA a ser utilizada como substrato de alimentação não passou por nenhum pré-tratamento.

A amostra original da CA foi utilizada para fazer a caracterização granulométrica e análise de sólidos, enquanto que, para análises físico-químicas (COT, AT, AG, N, P, S, macro e micronutrientes) a amostra foi moída e peneirada, sendo reservada a parte que passou em peneira com abertura de malha de 0,5 mm (32 Mesh).

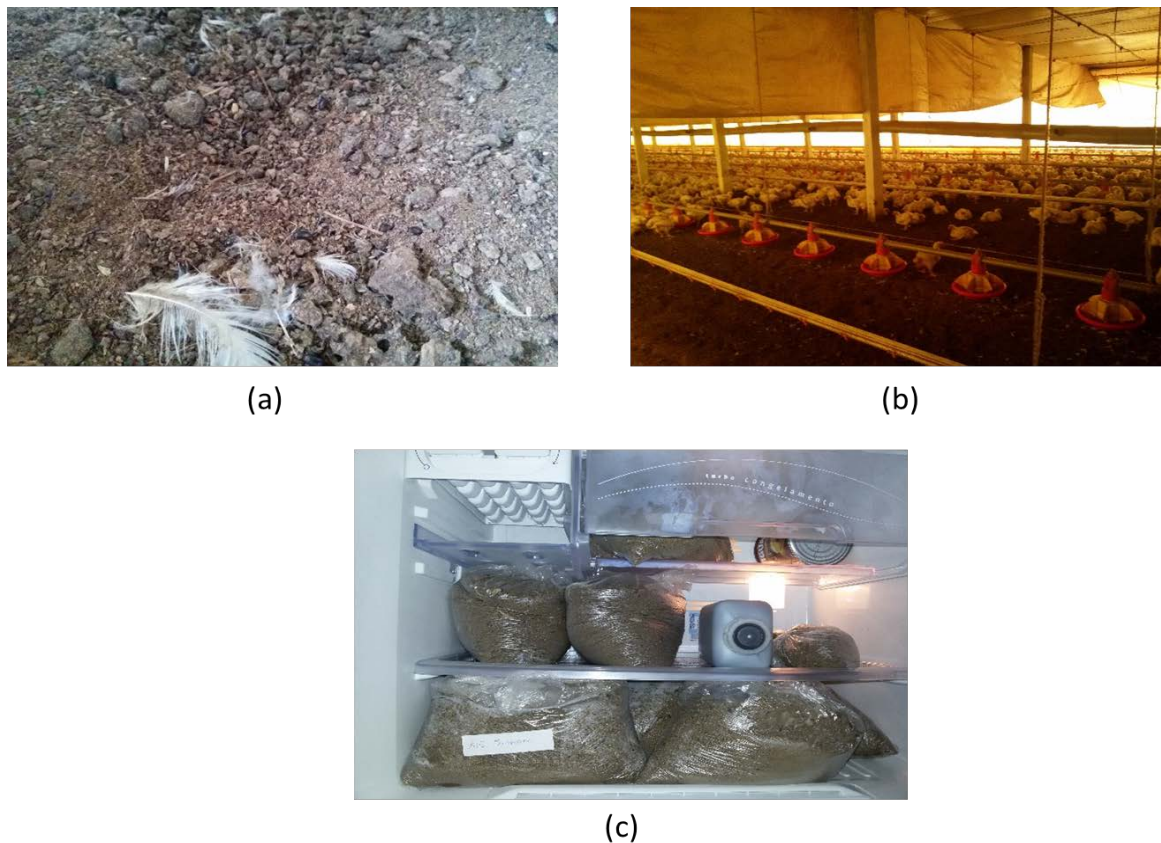


Figura 3 - (a) Cama de aviário; (b) Aviário; (c) Acondicionamento da cama de aviário.

A CA possui alto teor de sólidos sendo necessária a adição de líquido para a dissolução e favorecimento do processo de biodigestão. Neste caso, a dissolução foi feita por meio da mistura com água residuária obtida em indústria de beneficiamento de carne suína (matéria prima secundária), pelo processo de codigestão.

4.2.3 Efluente de Indústria de Beneficiamento de Carne Suína (ES)

Efluente obtido em indústria de abatedouro e beneficiamento de carne suína, após tratamento primário (3º decantador) ilustrado na Figura 4. O ES foi coletado em frascos de polietileno, armazenado sobre refrigeração, e caracterizado (ST, SV, SF, SST, SSF, SSV, DBO, DQO, AT, AG, N, P, S, micro e macronutrientes).

Este resíduo foi escolhido como matéria prima secundária pelo baixo teor de sólidos, visto que foi utilizado como dissolvente, e também, porque está disponível na região em grande quantidade, devido a atividade agroindustrial do município, onde a pesquisa foi realizada.



Figura 4 - Origem do efluente (ES).

4.3 PLANEJAMENTO FATORIAL

Trata-se de um estudo prévio a um delineamento composto central rotacional (DCCR) aqui apresentado como um fatorial 2^2 sem repetições, onde os fatores foram estudados apenas nos níveis +1 e -1. Os fatores estudados foram, tempo de retenção hidráulica (TRH_{dias}) e sólidos voláteis alimentados ($SV_{al.}$). Os níveis dos fatores estudados encontram-se detalhados na Tabela 5. No total foram desenvolvidos 4 ensaios conforme codificado na Tabela 6. A variáveis resposta obtidas foi a produção de biogás ($m^3.KgSV_{al}^{-1}$).

Tabela 5 - Níveis dos fatores estudados.

Fatores	Níveis	
Valores codificados	-1	1
TRH_{dias}	5	15
$SV_{al.}(\%)$	2,87	7,13

Tabela 6 - Ensaio realizados.

Reator	Valores codificados		Valores reais	
	TRH(dias)	SV _{al.} (%)	TRH (dias)	SV _{al.} (%)
R1	-1	-1	5	2,87
R2	-1	1	5	7,13
R3	1	1	15	7,13
R4	1	-1	15	2,87

O planejamento experimental fatorial tem como objetivo obter uma superfície de respostas com as condições ótimas do processo (RODRIGUES; LEMMA, 2014).

A análise de variância (ANOVA) foi aplicada com o objetivo de se comparar a variação devido aos tratamentos. Como não tem-se graus de liberdade para o resíduo, não é possível efetuar qualquer inferência sobre as respostas. Em outras palavras, se não há resíduo então há erro padrão e, portanto, não é possível construir estimativas por intervalos, testes de hipóteses e obter previsões (RODRIGUES; LEMMA, 2014).

Apenas a estatística descritiva é aceitável. Assim, pode-se obter estimativas por ponto quanto aos efeitos e quanto aos coeficientes de regressão, construir as curvas de contornos, o diagrama de Pareto e assim por diante. Isso quer dizer que pode-se apenas e tão somente descrever a amostra obtida, mas, jamais efetuar qualquer tipo de conclusão sobre a população da qual foi extraída essa amostra de quatro respostas (RODRIGUES; LEMMA, 2014).

Adotou-se então o modelo linear nos parâmetros Equação (1), pois não, considerou-se os pontos axiais.

$$Y_{ijr} = \beta_0 + \beta_{1X_1j} + \beta_{2X_2j} + \beta_{12X_1jX_2j} \quad (1)$$

Onde X_1 e X_2 são variáveis codificadas. Como considerou-se apenas os níveis baixo e alto para ambos os fatores, X_1 e X_2 assumem, ambos, os valores -1 e 1.

Ademais, β_0 , β_1 , β_2 e β_{12} são parâmetros do modelo de regressão, que foram estimados por meio do método dos mínimos quadrados.

4.4 MÓDULO EXPERIMENTAL

Os biodigestores trataram-se de reatores tubulares construídos com cloreto de polivinila (PVC), nas dimensões 0,60 x 0,15 m (comprimento x diâmetro), com volume de aproximadamente 10,60L e volume útil de aproximadamente 4,5L, sem controle de temperatura.

Os reatores estavam acoplados, por meio de mangueiras de silicone, aos sistemas de coleta (provetas invertidas), que permitiam a leitura direta do volume de biogás produzido e a medida da pressão por diferencial de altura. Os sistemas de coleta estavam preenchidos com solução salina (DIN 38414, 1985), também conhecida como solução barreira, na qual há pouca solubilidade do biogás.

Barômetros digitais (GULbress - 1001) e termômetros de mercúrio (- 10 a 250°C, Fielp) foram instrumentos auxiliares à operação dos biodigestores.

O sistema de tratamento, com os biodigestores, sistema de coleta (provetas invertidas) e instrumentos auxiliares estão representados nas Figuras 5a, 5b, 5c e 5d.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 5 - (a) Sistema de tratamento; (b) Biodigestores; (c) Sistema de coleta (provetas invertidas); (d) Manômetro.

A Figura 6 demonstra o esquema ilustrativo dos reatores estudados.

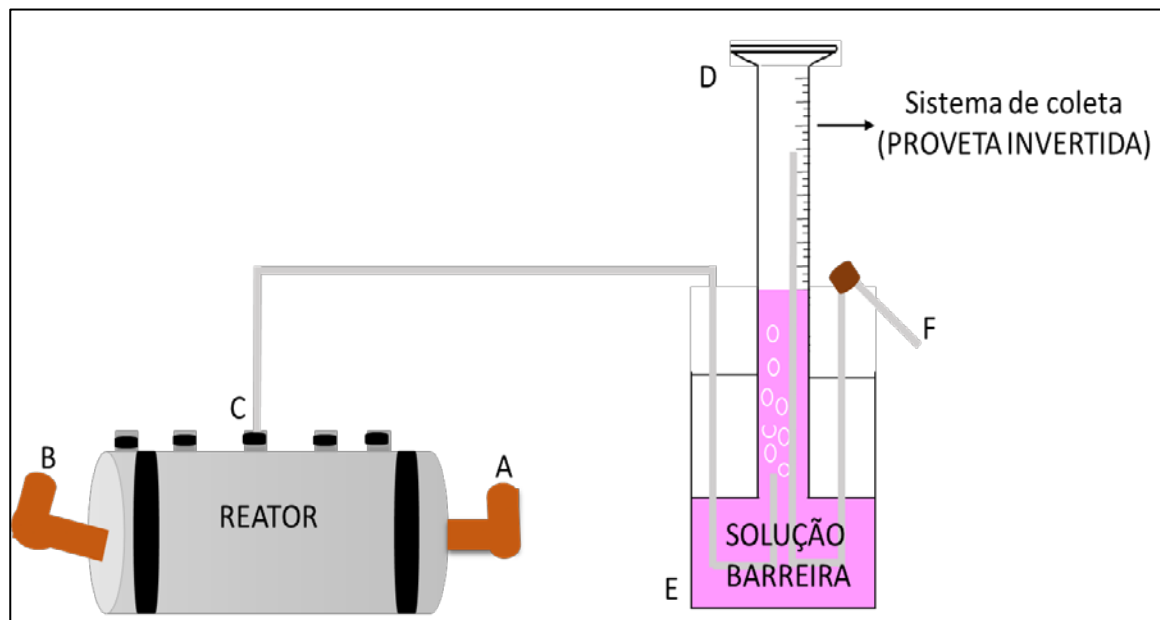


Figura 6 - Ilustração do sistema de produção de biogás (reator) e coleta (proveta invertida).

A alimentação dos reatores realizava-se através da entrada do reator (A), em que a mesma percorria o interior do reator com ausência de oxigênio, servindo de alimento para os microrganismos, onde os mesmos realizavam a decomposição da matéria orgânica, resultando na produção de biogás e também na produção do biofertilizante que era coletado na saída do reator (B).

A coleta de biogás era realizada por meio de uma mangueira de silicone (C) acoplada aos reatores. E esta mangueira era ligada a um recipiente (E) contendo solução barreira com uma proveta invertida (sistema de coleta) (D). A mangueira (C) era ligada em sua outra extremidade no interior da proveta, para promover o contato do gás com a solução barreira. Com a entrada de gás na proveta a solução se deslocava para baixo, permitindo assim, pela diferença de altura, calcular a quantidade de produção de biogás. No interior da proveta localizava-se outra mangueira (F) que tinha como função captar esse gás produzido e retirar o mesmo do sistema. Esse procedimento realizado com o auxílio de uma bomba de sucção que era acoplada na extremidade da mangueira, permitia a coleta de biogás produzido.

4.5 ROTINA EXPERIMENTAL

Para melhor compreensão a rotina experimental foi dividida em etapas conforme ilustrado na Figura 7: Preparo do substrato, aclimatação, inoculação, adaptação, alimentação semicontínua e monitoramento.

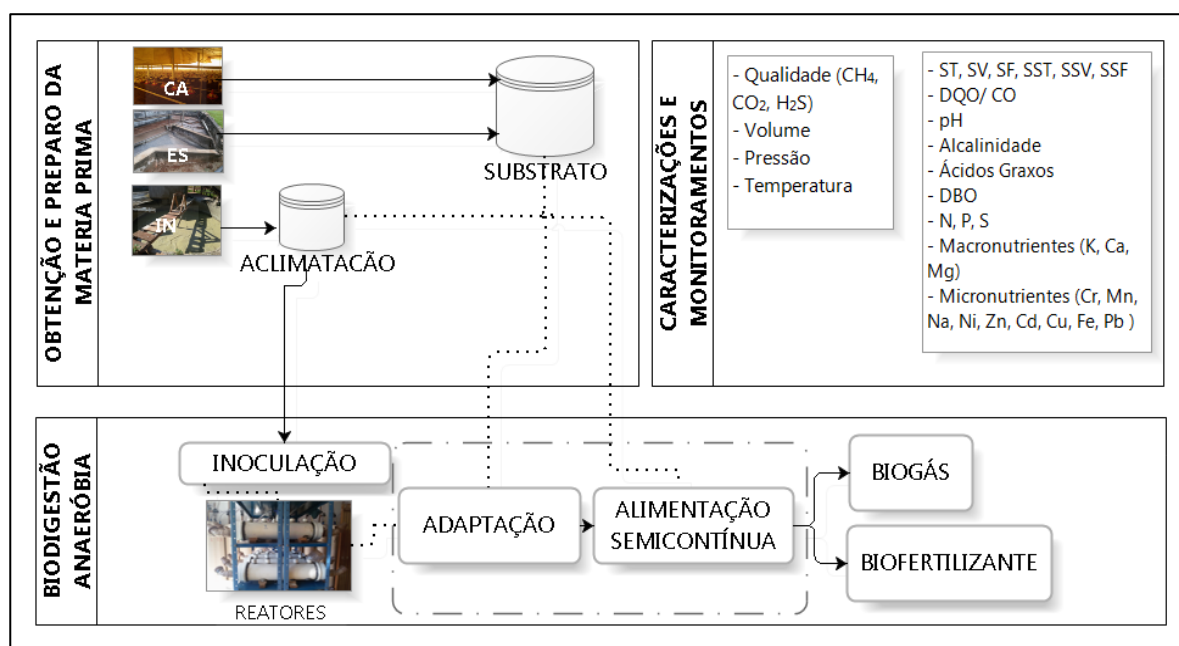


Figura 7 - Esquema geral de condução do experimento.

4.5.1 Preparo dos Substratos de Alimentação

O substrato de alimentação foi preparado a partir da mistura da CA com o ES (dissolvente) em diferentes concentrações de SV(%), em termos de massa. Partindo-se do balanço de massa global (Equação 2) e do balanço de massa por componente (Equação 3):

$$M_T = M_{CA} + M_{ES} \quad (2)$$

Onde:

M_T : Massa total da mistura (g), em que, $M_T = f(TRH)$;

M_{CA} : Massa de CA (g);

M_{ES} : Massa de ES (g).

$$M_T \times SV_T = (M_{CA} \times SV_{CA}) + (M_{ES} \times SV_{ES}) \quad (3)$$

Onde:

SV_T : Fração mássica total de SV na mistura (%);

SV_{CA} : Fração mássica de SV na CA (%);

SV_{ES} : Fração mássica de SV no ES (%).

As massas de CA e ES a serem pesadas foram calculadas pelas Equações 4 e 5, respectivamente. As misturas foram acondicionadas em frascos de plástico, nas quantidades corretas de cada alimentação.

$$M_{CA} = \frac{M_T \times (SV_T - SV_{ES})}{(SV_{CA} - SV_{ES})} \quad (4)$$

$$M_{ES} = M_T - M_{CA} \quad (5)$$

A vazão mássica do reator pode ser calculada pela Equação 6:

$$Q_{REATOR} = \frac{M}{TRH} \quad (6)$$

Onde:

Q_{reator} : Vazão mássica do reator ($\text{kg} \cdot \text{d}^{-1}$);

M : Massa total a ser alimentada no reator, equivalente ao volume útil (kg);

TRH : Tempo de retenção hidráulica (dias).

4.5.2 Aclimatação

A partida de um reator biológico pode ser otimizada pela adição de inóculos, no entanto, para que a partida do reator não se torne uma etapa limitante do processo, o inóculo deve ser oriundo de um sistema similar ao que se pretende inocular na falta deste. Há também a necessidade de uma aclimatação, ou seja, uma etapa em que o inóculo adapte-se ao novo substrato de alimentação que estará recebendo (AMARAL et al.,2008).

A aclimatação consistia em misturar o inóculo com o substrato de alimentação, na proporção volumétrica 1:1, à 35°C, pH entre 6,0 e 8,0, e semeá-lo a cada 2 dias da seguinte forma: retirava-se o líquido sobrenadante, e fazia-se a reposição com a mesma quantidade de substrato. A Figura 8 demonstra o processo de aclimatação.

No período de aclimatação, o substrato com uma concentração de aproximadamente 2% de SV foi utilizado para alimentação (concentração mínima usada nos delineamentos estatísticos posteriores). O ajuste do pH foi feito pela adição de ácido cítrico ou hidróxido de sódio, e o controle de temperatura mantido por um banho termostático.



Figura 8 – Aclimatação

4.5.3 Inoculação

Todos os biodigestores foram inoculados, num mesmo momento, com o inóculo já aclimatado, utilizando aproximadamente 10% da capacidade do reator, equivalente a 1L de inóculo. Após 24h, tempo para verificação da quantidade de biogás produzida por endogenia, as bactérias começaram a se adaptar conforme descrito na seção 4.5.4.

4.5.4 Adaptação

Nesta etapa, já dentro do reator, as bactérias se adaptam ao novo ambiente. Nos primeiros dias a alimentação foi feita a cada 24h, acrescentando-se 0,875 L (3,5 L de volume útil / 4 dias de adaptação), com concentrações de sólidos voláteis que aumentaram de forma gradual conforme a Tabela 7. Observa-se na Tabela 7 que no 4 dia, todos os reatores estavam sendo alimentados com a concentração de SV_{al} (%) que foi estudada no delineamento experimental.

Tabela 7 - Alimentação dos biodigestores na fase de adaptação.

Reator	Codificado		Valor real		Aumento gradual de SV_{al} (%)			
	TRH (dias)	SV_{al} (%)	TRH (dias)	SV_{al} (%)	1º dia (%)	2º dia (%)	3º dia (%)	4º dia (%)
R1	-	-	5	2,87	2,00	2,29	2,58	2,87
R2	-	+	5	7,13	2,00	3,71	5,42	7,13
R3	+	+	15	7,13	2,00	3,71	5,42	7,13
R4	+	-	15	2,87	2,00	2,29	2,58	2,87

4.5.5 Alimentação Semicontínua

Após a fase de adaptação (4 dias), os reatores foram alimentados diariamente, 4 vezes ao dia, de acordo com o delineamento experimental e conforme

descrito na Tabela 8. Os horários de alimentação dos reatores seguiam uma frequência de horário, que foram, 4,5h, 7,5h, 4,5h e 7,5h, com volumes de alimentação proporcionais à quantidade de horas entre uma alimentação e outra. A divisão da alimentação, em quatro intervalos, tem o intuito de causar menor turbulência no sistema, tendendo a uma velocidade linear do afluente.

Tabela 8 - Massa de substratos alimentados aos reatores.

Reator	Codificado		Real		Substratos de alimentação (g)			
	TRH (dias)	SV _{al.} (%)	TRH (dias)	SV _{al.} (%)	7:00h	11:30h	19:00h	23:30h
R1	-	-	5	2,87	131	219	131	219
R2	-	+	5	7,13	131	219	131	219
R3	+	+	15	7,13	44	73	44	73
R4	+	-	15	2,87	44	73	44	73

A exemplo segue como foram realizados os cálculos para os reatores.

Exemplo reator R1.

Dados fixos utilizados para cálculos de todos os reatores:

$$V_{Total} \cong 10,60L$$

$$V_{útil} \cong 4,5L$$

$$V_{inóculo} = 1L$$

$$V_{substrato\ de\ alimentação} = 3,5L \Rightarrow V_{substrato\ de\ alimentação} = 3,5kg$$

Primeiramente foram calculadas as massas da alimentação semi-contínua para cada reator (Equação 7). A vazão mássica para o reator R1 (TRH_{dias} = 5 dias e SV_{al.}(%) = 2,87%)

$$Q_{R1} = \frac{3,5kg}{5dias} = 0,7kg.d^{-1} \quad (7)$$

Ou seja, todos os dias o R1 foi alimentado com 700g de substrato. Essa quantidade diária foi dividida em 4 horários de alimentação. Os horários de alimentação foram os mesmos para todos os reatores que correspondem a 7:00, 11:30, 19:00 e as 23,30h, (Figura 9).

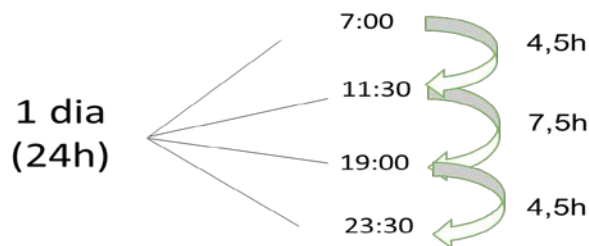


Figura 9 - Horários alimentação semicontínua.

Então, para o R1 a quantidade alimentada em cada horário estipulado foi calculada de acordo com a Equação 8.

$$Q_{R1} = \frac{700g}{dia} \times \frac{1dia}{24h} = 29,17g \cdot h^{-1} \quad (8)$$

Esta quantidade calculada pela Equação 8 foi então dividida pelo número de horas entre os intervalos de alimentação. A quantidade de alimentação nos respectivos horários foi calculada de acordo com a Equação 9.

$$Para\ as\ 7:00h \rightarrow \frac{29,17g}{h} \times 4,5h = 131,25g \quad (9)$$

Para os demais horários de alimentação o cálculo da Massa total a ser pesada e alimentada foi calculada da mesma forma.

Após foi então calculado o quanto de cada matéria prima, ou seja, que quantidade de CA e ES (substrato) seriam pesados para compor a massa total da alimentação semicontínua no horário das 7:00h (Equações 10 e 11), já para os demais horários a massa de cada componente a ser pesada foi calculada da mesma forma. Os cálculos foram realizados com base nas equações descritas na seção 4.5.1.

Para R1

$$M_{CA} = 131,25 \times \frac{(2,87 - 0,1486)}{(24,083 - 0,1486)} = 15,00g \quad (10)$$

Onde:

$SV_t = 2,87$, valor estabelecido pelo delineamento experimental;

$SV_{ES} = 0,1486$, valor encontrado na análise laboratorial do ES;

$SV_{CA} = 24,083$, valor encontrado na análise laboratorial da CA.

$$M_{es} = 131,25 - 15,00 = 116,25g \quad (11)$$

O valor a ser alimentado às 7:00h é de aproximadamente 116g de massa total, para os demais horários os cálculos foram realizados seguindo os mesmos passos.

4.5.6 Biogás

O volume, pressão e temperatura do biogás foram monitorados aproximadamente a cada 2 horas (o tempo variava em função do preenchimento da proveta invertida), enquanto que, a qualidade do biogás foi monitorada a cada 48h.

O volume era lido diretamente por deslocamento da solução salina na proveta invertida e sofreu uma correção para as condições de 1 atm em 20°C, utilizando-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac, conforme a Equação 12. A pressão do biogás foi calculada em função do diferencial de altura da solução barreira de acordo com a Equação 13.

$$V_{CNTP} = \frac{P_{biogás} \times V_{biogás}}{T_{biogás}} \times \frac{T_{CNTP}}{P_{CNTP}} \quad (12)$$

Onde:

V_{CNTP} : Volume de biogás corrigido nas Condições Normais de Temperatura e Pressão - CNTP;

T_{CNTP} : Temperatura (273,15K / 0°C);

P_{CNTP} : Pressão (101,325kPa / 1atm);

$P_{biogás}$: Pressão do biogás;

$T_{biogás}$: Temperatura do biogás;

$V_{biogás}$: Volume do biogás.

$$P_{biogás} = (P_{atm} + \rho_{sb} \times g \times H) - P_w \quad (13)$$

Onde,

P_{atm} : Pressão atmosférica;

P_w : Pressão de vapor d'água;

ρ_{sb} : Densidade da solução barreira;

g : Aceleração da gravidade no município de Medianeira (9,7883 m.s⁻²);

H : Diferencial de altura.

O biogás foi coletado em seringas de polipropileno e imediatamente enviado para análise em Cromatógrafo Gasoso (CG). A qualidade do biogás foi avaliada em termos de concentração de metano (CH₄), gás carbônico (CO₂) e sulfeto de hidrogênio (H₂S).

4.5.7 Biofertilizante

O biofertilizante, nome dado ao efluente dos reatores, foi coletado a cada 48h a partir da fase de adaptação, e caracterizado por ST, SV, SF, AT, AG, CO, N, P, S, macro e micronutrientes.

4.6 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

Os métodos utilizados para as análises físico-químicas estão citados na Tabela 9 junto com a forma de coleta, preservação e prazo de análise da amostra.

Tabela 9 - Parâmetros físico-químicos de preservação e armazenamento de amostras.

Parâmetro	Frasco	Preservação	Prazo para análise	Método
ST, SV e SF	P	Refrigeração a 4° C	7dias	APHA, 2012.
SSV, SSF, SST	P	Refrigeração a 4° C	7dias	APHA, 2012.
Caracterização Granulométrica	P	Refrigeração a 4° C	7 dias	MAPA,2014
pH	P	Refrigeração a 4° C	Na coleta/ até 6h.	SILVA, 1998
N	P	Refrigeração a 4° C	7dias	4500 N _{org} B / APHA, 1998
P	P	H ₂ SO ₄ conc. Até pH<2. Refrigeração a 4° C.	28dias	APHA, 2012.
S	P	Refrigeração a 4° C	7dias	MAPA, 2014
Macronutrientes (K, Ca, Mg)	P	Refrigeração a 4° C	7dias	3030D/ APHA, 2012
Micronutrientes (Cr, Mn, Na, Ni, Zn, Cd, Cu, Fe, Pb)	P	Refrigeração a 4° C	7dias	3030D/ APHA, 2012
DQO	P	H ₂ SO ₄ conc. Até pH<2. Refrigeração a 4° C.	7dias	5220D/APHA, 2012.
DBO _(5,20)	P	Refrigeração a 4° C	24h	5210B/APHA,2012
COT	P	H ₂ SO ₄ conc. Até pH<2. Refrigeração a 4° C.	7 dias	MAPA, 2014
Alcalinidade Ácidos Graxos Voláteis	P	Refrigeração a 4° C	24h	RIPLEY et al., (1986) DILLALO, R; ALBERTSON,O.E.(1961)

Legenda: P refere-se a plástico.

4.6.1 Cromatografia Gasosa

A porcentagem de CH₄, H₂S e CO₂ no biogás foi estimada por cromatografia gasosa (CG), a partir de amostras coletadas em seringas de polipropileno descartáveis durante os dias de operação do reator.

O Cromatógrafo a gás utilizado foi o modelo Clarus 680 da marca Perkin Elmer, com detector de condutividade térmica (TCD) e Coluna Elite-Plot Q. A Coluna possui 30m de comprimento por 0,322mm de diâmetro interno. O gás de arraste é o

gás Hélio numa vazão de $30\text{mL}\cdot\text{min}^{-1}$. Offset de tensão de 5mV. Temperatura do injetor de 100°C e temperatura do detector de 0°C .

A rampa de temperatura permanece num patamar de 32°C nos 3,5 min iniciais, aumenta de 32°C até 100°C numa taxa de $20^{\circ}\text{C}/\text{min}$, ao chegar em 100°C permanece nesta temperatura por mais 2min. O tempo total da corrida é de 8,9 $\text{min}\cdot\text{amostra}^{-1}$. A seringa de injeção é a Gastight Hamilton 0-500 μL . O volume injetado de gás é 500 μL que corresponde a 0,5 mL.

O cálculo da concentração é feito a partir de curvas de calibrações estabelecidas (Figura 10, 11 e 12).

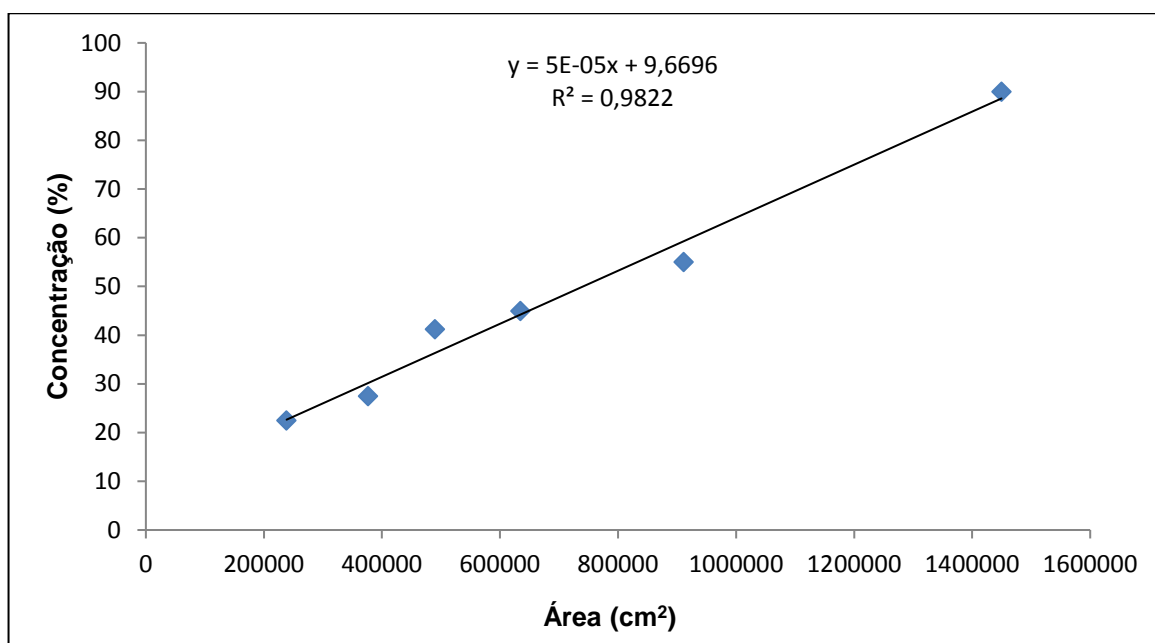
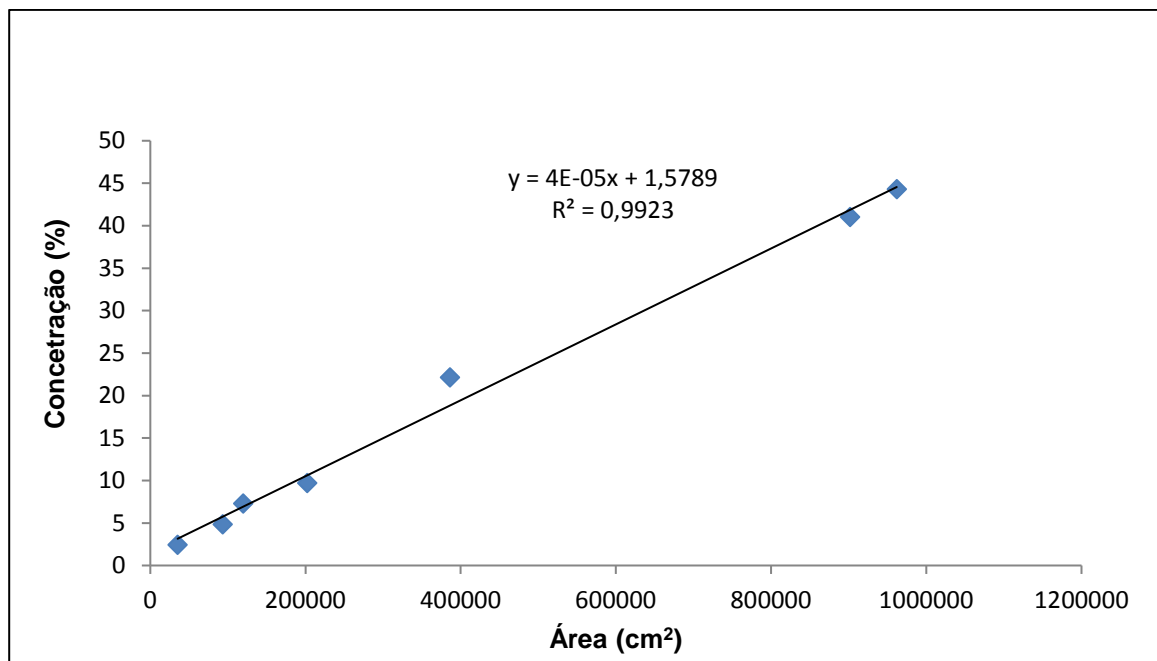
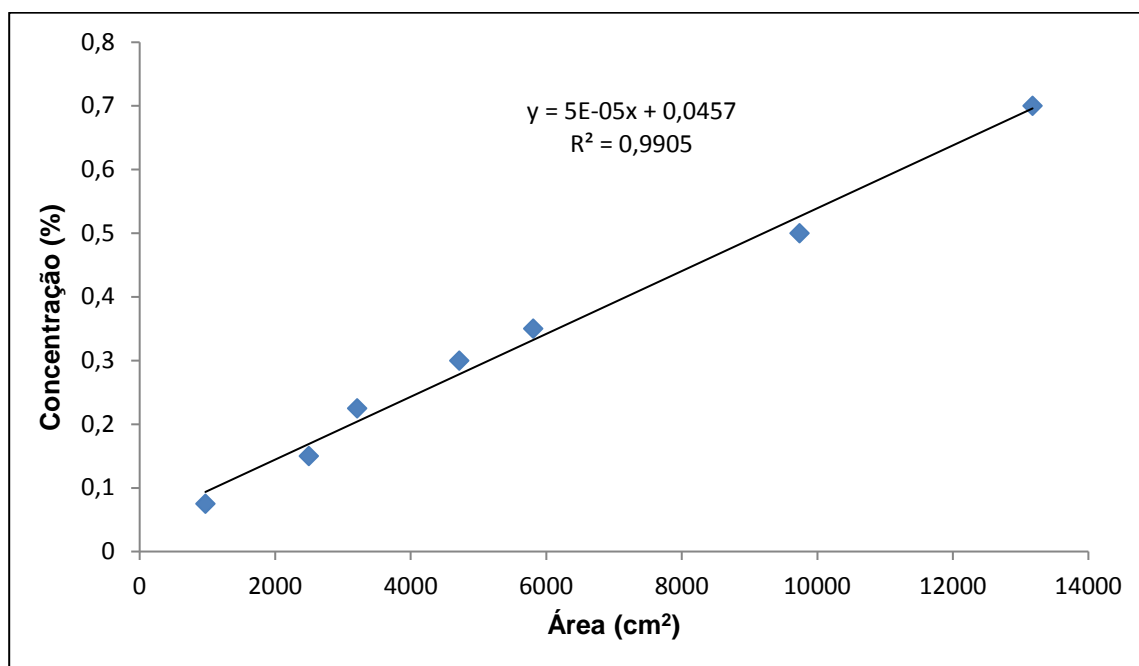


Figura 10 - Curva de calibração CH_4 .

Figura 11 - Curva de calibração CO₂.Figura 12 - Curva de calibração H₂S.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO INÓCULO

O início de operação de um biodigestor constitui um aspecto crucial na determinação do sucesso na produção de biogás. O ponto chave na partida do processo está relacionado com a existência de uma população microbiana adaptada ao resíduo em questão, que pode ser suprida por microrganismos presentes no próprio resíduo (inóculo natural), ou pode ser introduzida no biodigestor por meio da utilização de inóculos de outras fontes.

Uma avaliação quantitativa e qualitativa do potencial microbiano do inóculo, é importante no sentido de reduzir ao mínimo o período de adaptação e acelerar o processo de digestão anaeróbia. Nas Tabelas 10, 11 e 12 estão apresentados os resultados obtidos da caracterização físico-química do inóculo utilizado nos experimentos.

Tabela 10 - Características do inóculo com base nas análises físico-químicas.

Análises	Resultados
Sólidos Totais - (%)	9,46 ± 0,15
Sólidos Totais Fixos - (%)	4,47 ± 0,16
Sólidos Totais Voláteis - (%)	4,98 ± 0,01
Sólidos Suspensos Totais - (%)	6,25 ± 0,65
Sólidos Suspensos Fixos - (%)	3,10 ± 0,24
Sólidos Suspensos Voláteis - (%)	3,15 ± 0,46
Potencial Hidrogeniônico - (pH)	8,03 ± 0,16
Carbono Orgânico - (%)	32,32 ± 6,02
Nitrogênio Total - (%)	0,28 ± 0,06
Fósforo - (%P ₂ O ₅)	Não detectado pelo método
Enxofre - (%)	0,15 ± 0,00

Tabela 11 - Características do inóculo com base nas análises de macronutrientes.

Metais Macronutrientes	Resultados (ppm)
Cálcio (Ca)	986,63 ± 58,54
Potássio (K)	643,65 ± 28,14
Magnésio (Mg)	314,41 ± 34,67

Tabela 12 - Características do inóculo com base nas análises de micronutrientes.

Metais Micronutrientes	Resultados (ppm)
Cromo (Cr)	Não detectado pelo método
Manganês (Mn)	19,95±0,64
Sódio (Na)	347,07±24,17
Níquel (Ni)	Não detectado pelo método
Zinco (Zn)	22,51±0,94
Cádmio (Cd)	0,33±0,07
Cobre (Cu)	3,98±0,40
Ferro (Fe)	297,16±5,81
Chumbo (Pb)	Não detectado pelo método

A fase inicial dos reatores anaeróbios é em geral um processo lento (WEILAND,1987) dependendo da quantidade e qualidade do inóculo, do grau de adaptação da cultura do efluente, da velocidade de crescimento dos microrganismos e do grau de retenção de biomassa do reator. A aclimação serve para amenizar e/ou eliminar estes problemas.

O processo de aclimação no presente estudo foi eficiente, pois percebe-se já nesta etapa a produção de biogás, pelo estufamento do recipiente e cheiro característico.

Comparando os resultados obtidos neste trabalho com a composição das bactérias metanogênicas obtido por Chernicharo (1997), verifica-se que o inóculo aponta as necessidades nutricionais baseada na própria composição dos microrganismos, e a partir disso foi possível perceber que o inóculo possui uma deficiência dos macronutrientes, Nitrogênio, Fósforo e Enxofre e do micronutriente Níquel, exigindo complementos nutricionais juntamente com o substrato que será utilizado na alimentação dos biodigestores.

O valor de pH encontrado (8,03) está coerente com os valores citados por Yang et al. (1987) pH tido como eficaz na faixa de (6,5 - 8,2), para a sobrevivência das bactérias metanogênicas.

O processo de aclimação foi de extrema importância uma vez que a produção de biogás iniciou no terceiro dia, como pode ser observado nas Figuras 12, 13, 14 e 15.

Estudos feitos por Lucas Junior et al. (1994) sobre a utilização de inóculo adicional no desempenho de biodigestores operados com resíduos de frangos de corte demonstraram o aumento do potencial e antecipação da produção de biogás quando se utilizou como inóculo a cama de aviário, independente do teor de sólidos

totais. Torres-Castillo et al. (1995) observaram melhor desempenho de biodigestores com a utilização de dejetos de bovinos e de suínos como inóculo.

5.2 CARACTERIZAÇÃO DA CAMA DE AVIÁRIO E DO EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE BENEFICIAMENTO DE CARNE SUÍNA

Nas Tabelas 13, 14, 15, 16, 17, 18 e 19 estão contidos os parâmetros encontrados através das análises físico-químicas que caracterizam os componentes do substrato, CA e ES.

Tabela 13 - Análise granulométrica da cama de aviário (CA).

Abertura (Tyler mesh)	Abertura (mm)	Fração de Retenção (%)	Fração que passa Pela peneira (%)
10	1,70	23,39	76,71
16	1,00	12,09	64,52
32	0,500	17,42	47,1
60	0,250	19,35	27,75
180	0,088	20,99	6,76
250	0,061	2,39	4,36
-	0,053	1,23	3,13

Observando a Tabela 13 sobre a caracterização granulométrica da CA é possível constatar que aproximadamente 53% da amostra possui granulometria maior do que 0,5mm o que é classificado de acordo com Gomide (1924) como sólidos granulares e o restante 47% como pó. Essa granulometria pode variar de acordo com o número de lotes que a cama permanece no aviário. Neste trabalho a cama de aviário utilizada foi obtida de uma propriedade que a retirou depois de utilizar para 10 lotes de frangos de corte. Cada lote permanece por aproximadamente, 45 dias e há um intervalo em média de mais de 10 dias entre os lotes para preparação do aviário para receber o próximo lote de frangos.

Este parâmetro indica que pode-se evitar um processo de redução de granulometria (moagem) da amostra devido a grande área de superfície de contato para que possa ser digerida pelos microrganismos.

As Tabelas 14, 15 e 16 contêm as características físico-químicas obtidas através das análises laboratoriais da matéria prima principal CA.

Tabela 14 - Características cama de aviário com base nas análises físico-químicas.

Análises	Resultados
Sólidos Totais - (%)	76,84 ± 0,31
Sólidos Totais Fixos - (%)	57,76 ± 0,88
Sólidos Totais Voláteis - (%)	24,08 ± 1,20
Potencial Hidrogeniônico - (pH)	9,47 ± 0,15
Alcalinidade Total - (mgCaCO ₃ .g ⁻¹)	37.777,78 ± 4714,04
Alcalinidade Intermediária - (mgCaCO ₃ .g ⁻¹)	15.416,67 ± 2160,60
Alcalinidade Parcial - (mgCaCO ₃ .g ⁻¹)	22361,11 ± 2553,44
Ácidos Graxos Voláteis - (mgHAc.L ⁻¹)	18800,00 ± 1649,91
Carbono Orgânico - (%)	76,60 ± 1,07
Nitrogênio Total - (%)	2,39 ± 0,06
Fósforo - (%P ₂ O ₅)	2,90 ± 0,03
Enxofre - (%)	0,50 ± 0,04

Tabela 15 - Características cama de aviário com base nas análises de macronutrientes.

Metais Macronutrientes	Resultados (ppm)
Cálcio (Ca)	19.837,72 ± 57,84
Potássio (K)	13.201,21 ± 114,06
Magnésio (Mg)	3.680,30 ± 54,27

Tabela 16 - Características cama de aviário com base nas análises de micronutrientes.

Metais Micronutrientes	Resultados (ppm)
Cromo (Cr)	Não detectado pelo método
Manganês (Mn)	197,67 ± 6,35
Sódio (Na)	2.953,74 ± 36,52
Níquel (Ni)	Não detectado pelo método
Zinco (Zn)	436,86 ± 11,01
Cádmio (Cd)	1,29 ± 0,86
Cobre (Cu)	40,93 ± 0,95
Ferro (Fe)	3298,89 ± 399,51
Chumbo (Pb)	Não detectado pelo método

Díaz et al. (2003) caracteriza alto teor de sólidos um valor de 15% de ST, Mata-Alvarez (2003) considera que um alto teor de sólidos varia na faixa de 20 a 40% de ST e Brummeler (1993) avalia valores acima ST > 20%.

Pode-se afirmar que o resíduo cama de aviário possui alta concentração de sólidos, acima de 76% de ST (Tabela 14) o que caracteriza um resíduo impróprio para biodigestão anaeróbia. Segundo Ruiz (1992) a biodigestão anaeróbia exige um teor

de água que deve estar ao redor 90% do seu conteúdo total, no entanto a matéria prima utilizada possui baixa umidade ($U_{105^{\circ}\text{C}}$) cerca de aproximadamente 24%.

Conforme relata Lopes (2000) e Chanakya et al. (2007), um dos problemas que torna imprópria a digestão anaeróbia com alta concentração de sólidos pode ser atribuída ao baixo teor de umidade, uma vez que este limita o transporte de massa, existindo pouca penetração e distribuição dos microrganismos na extensão do substrato.

O percentual de umidade permite não somente auxiliar no movimento microbiano, como também influenciar na limitação do transporte de massa de sólidos e no balanço entre a produção de ácidos graxos voláteis pelos microrganismos acidogênicos e a conversão desses ácidos em metano pelos microrganismos metanogênicos (LAY et al., 1997).

A partir disso faz-se necessário a adição de água ao substrato de alimentação, ou como no caso do estudo, a adição de efluente de indústria de beneficiamento de carne suína com o intuito de fornecer a quantidade de água necessária a cama de aviário (resíduo sólido), economizar água e possibilitar a degradação e consequente produção de biogás.

As análises de nitrogênio, fósforo e enxofre estão coerentes com os estudos de Zwieten et al. (2013) que caracterizou a CA (Tabela 2). Entre os macros e micronutrientes destaca-se a ausência de Cromo e Níquel que apresentam alta toxicidade no tratamento anaeróbio, contudo é preocupante a quantidade de cobre que mesmo presente em baixa concentração, se solúvel é prejudicial para biodigestão. Este problema pode ser resolvido pela precipitação com sulfetos metálicos. Em tese a presença de enxofre quando na forma de sulfetos pode auxiliar na precipitação de metais.

O pH encontrado no resíduo cama de aviário (9,47) é relativamente básico se confrontado com valores citados por Yang et al. (1987), pH ideal na faixa de (6,5 a 8,2). O pH afeta diretamente a atividade de enzimas, indiretamente a toxicidade de um número de compostos e também influencia na alcalinidade e na produção de ácidos graxos voláteis do sistema (Yang et al., 1987).

Os microrganismos necessitam de ingredientes essenciais para o crescimento, nomeadamente de macro e micronutrientes (SPEECE, 1983). Alguns elementos, como carbono e nitrogênio, são usualmente requeridos em quantidades relativamente grandes e podem ser muito importantes na seleção das espécies predominantes.

Micronutrientes são requeridos em quantidades muito pequenas, geralmente exercem pouca ou nenhuma influência seletiva.

Além da alta quantidade de ST presentes na CA, a matéria prima apresentou outros parâmetros fora do ideal para biodigestão. A codigestão com o ES pretende complementar a CA. Nas Tabelas 17,18 e 19 pode ser observado os resultados encontrados nas análises físico-químicas da matéria prima secundária - ES.

Tabela 17 - Características do efluente de indústria de beneficiamento de carne suína com base nas análises físico-químicas.

Análises	Média ± Desvio Padrão
Sólidos Totais - (%)	0,21 ± 0,09
Sólidos Totais Fixos - (%)	0,06 ± 0,02
Sólidos Totais Voláteis - (%)	0,14 ± 0,01
Sólidos Suspensos Totais - (%)	2,72 ± 0,38
Sólidos Suspensos Fixos - (%)	2,19 ± 0,28
Sólidos Suspensos Voláteis - (%)	0,52 ± 0,46
Potencial Hidrogeniônico - (pH)	7,3 ± 0,47
Demanda Química de Oxigênio - (mgO ₂ .L ⁻¹)	1056,82 ± 18,68
Demanda Bioquímica de Oxigênio - (mg.L ⁻¹)	1074,73 ± 31,14
Alcalinidade Total - (mgCaCO ₃ .g ⁻¹)	1000,59 ± 24,36
Alcalinidade Intermediária - (mgCaCO ₃ .g ⁻¹)	747,29 ± 22,72
Alcalinidade Parcial - (mgCaCO ₃ .g ⁻¹)	253,29 ± 1,63
Ácidos Graxos Voláteis - (mgHAc.L ⁻¹)	8574,03 ± 807,52
Nitrogênio Total - (%)	0,04 ± 0,01
Fósforo - (%P ₂ O ₅)	Não detectado pelo método
Enxofre - (%)	0,19 ± 0,01

Tabela 18 - Características efluente de indústria de beneficiamento de carne suína com base nas análises de macronutrientes.

Metais Macronutrientes	Resultados (ppm)
Cálcio (Ca)	6,71 ± 2,02
Potássio (K)	16,66 ± 0,16
Magnésio (Mg)	5,45 ± 0,89

Tabela 19 - Características efluente de indústria de beneficiamento de carne suína com base nas análises de micronutrientes.

Metais Micronutrientes	Resultados (ppm)
Cromo (Cr)	Não detectado pelo método
Manganês (Mn)	Não detectado pelo método
Sódio (Na)	40,53 ± 0,19
Níquel (Ni)	0,37 ± 0,08
Zinco (Zn)	0,03 ± 0,03
Cádmio (Cd)	0,08 ± 0,03
Cobre (Cu)	Não detectado pelo método
Ferro (Fe)	2,56 ± 0,15
Chumbo (Pb)	Não detectado pelo método

O ES possui baixa concentração de ST quando comparado com CA, isso se deve ao fato que a matéria prima foi coletada após o tratamento primário. É ideal que o efluente apresente baixa quantidade de ST e SV quando comparado com a CA pois este pode ser utilizado como dissolvente.

De acordo com as Tabelas 17, 18 e 19 é perceptível que a carga orgânica (CO) da cama de aviário é superior que a CO do ES o que demonstra que o ES complementa em termos de SV a cama de aviário, evidenciando a importância da codigestão entre os resíduos.

Como o pH encontrado no resíduo cama de aviário (9,47) é relativamente alto e básico, e o pH do efluente de beneficiamento de carne suína possui pH mais neutro (7,3), demonstra-se assim que os resíduos se complementam em mais um dos parâmetros considerados de alta importância para uma codigestão.

O ES não apresenta cromo, porém possui uma pequena quantidade de níquel que é tóxica aos microrganismos quando em alta quantidade necessitando ser precipitado por sulfetos. Neste caso nem o IN e nem a CA apresentam Níquel em sua composição, presumindo-se que esta quantidade será vital para os microrganismos como apontado na Tabela 3, não acarretando problemas de toxicidade. A ausência de cobre é importante principalmente porque a CA já possui traços de cobre, não permitindo assim o acúmulo do metal.

5.3 ACOMPANHAMENTO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS DOS REATORES

Através das Figuras 13, 14, 15 e 16 é possível observar a produção volumétrica de biogás ao longo do tempo dos reatores estudados.

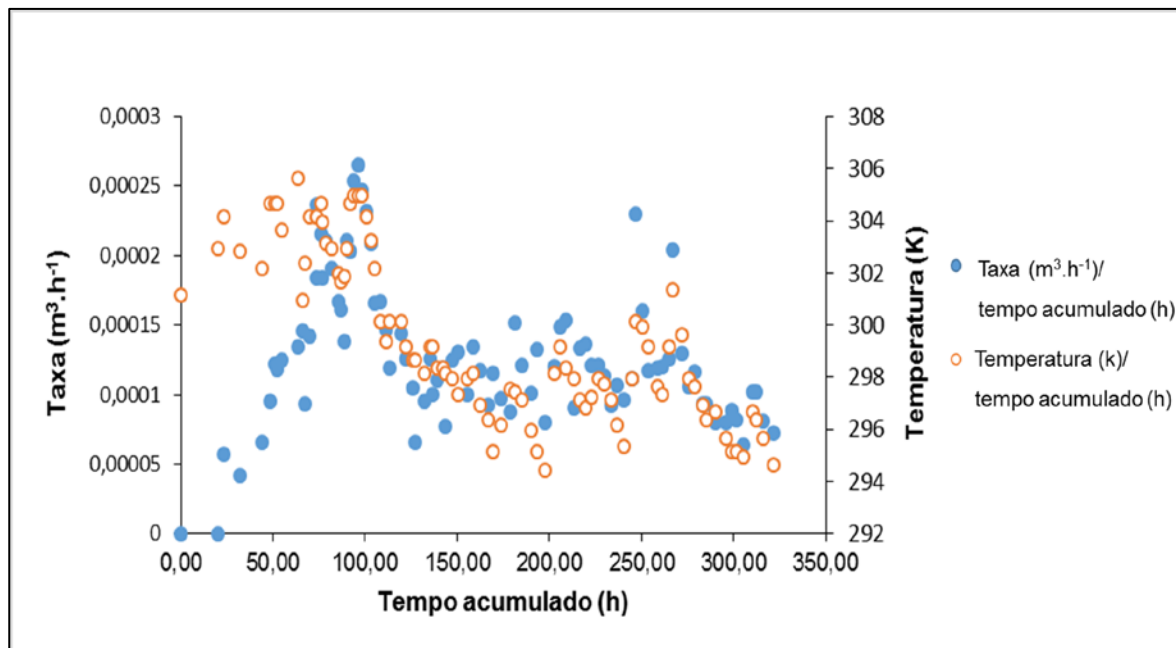


Figura 13 - Gráfico da produção volumétrica de biogás reator 1.

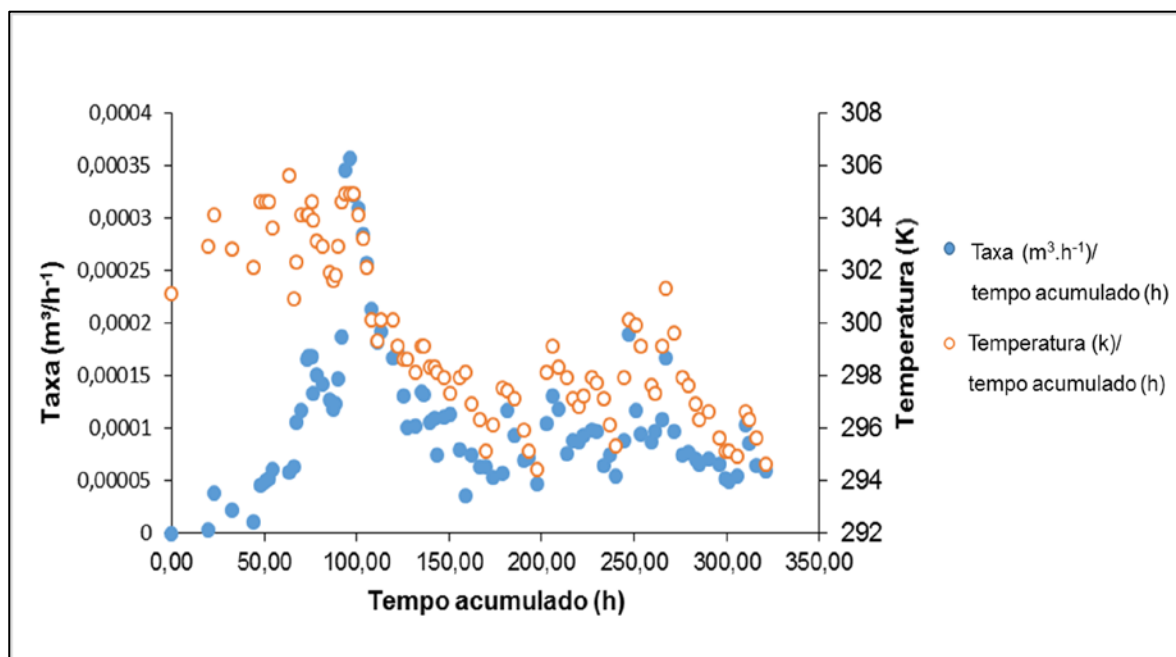


Figura 14 - Gráfico da produção volumétrica de biogás reator 2.

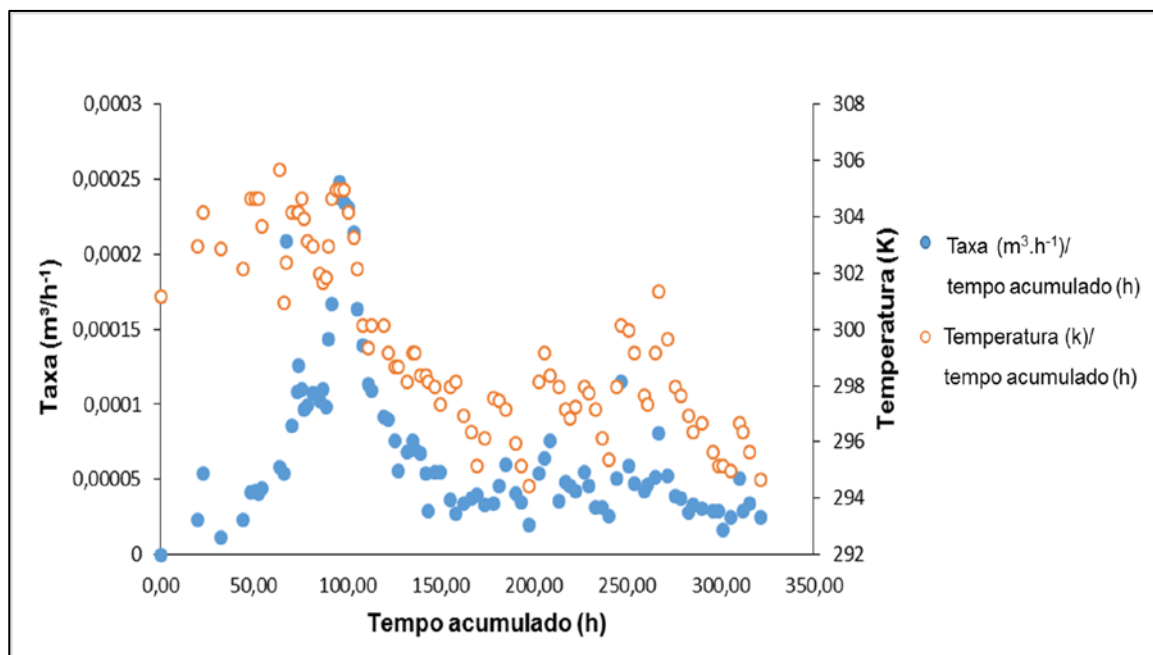


Figura 15 - Gráfico da produção volumétrica de biogás reator 3.

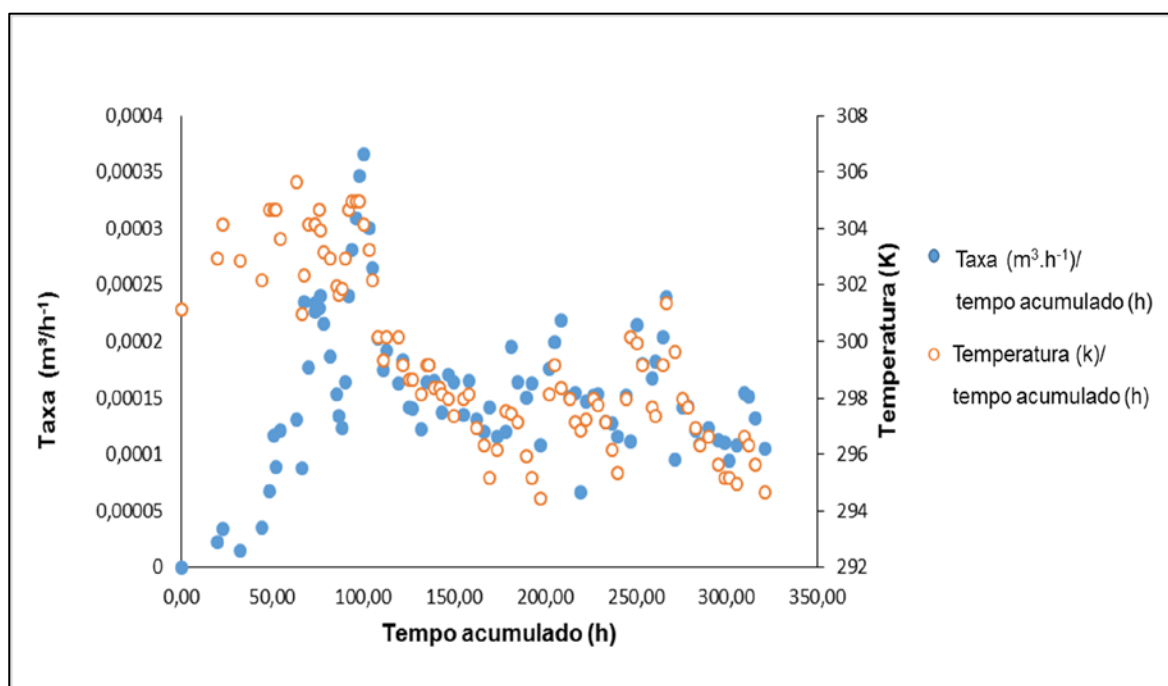


Figura 16 - Gráfico da produção volumétrica de biogás reator 4.

Comparando as Figuras 13, 14, 15 e 16 entre si, percebe-se que o tempo de adaptação das bactérias foi de até aproximadamente 100 horas, ou seja, atingindo até o primeiro pico, a partir desse pico as curvas começam a se estabilizar e isso se deve ao fato de que começou a alimentação constante e contínua dos reatores.

É possível perceber que a taxa de produção de biogás ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) acompanha à temperatura (K). Se a temperatura diminui a produção de biogás também diminui, isso acontece, devido a maioria das espécies de bactérias metanogênicas enquadrarem-se na produção de metano na faixa mesófila com crescimento ótimo entre 20 a 45°C (CHERNICHARO,1997). Considerando que a temperatura se manteve entre 21 e 29°C, e que as temperaturas nos reatores não foram controladas ocorreram algumas variações, que foram em alguns momentos maiores que 2°C por dia, o que ocasionou falhas no processo da adaptação das bactérias com a temperatura (CHERNICHARO,1997).

Com relação ao tempo para estabilização do reator este foi relativamente reduzido e isso, deve-se ao inóculo adicionado nos reatores, já aclimatado, que reduziu o tempo de bioestabilização do material orgânico. As Figuras 17,18, 19 e 20 ilustram a produção de biogás acumulada dos reatores estudados.

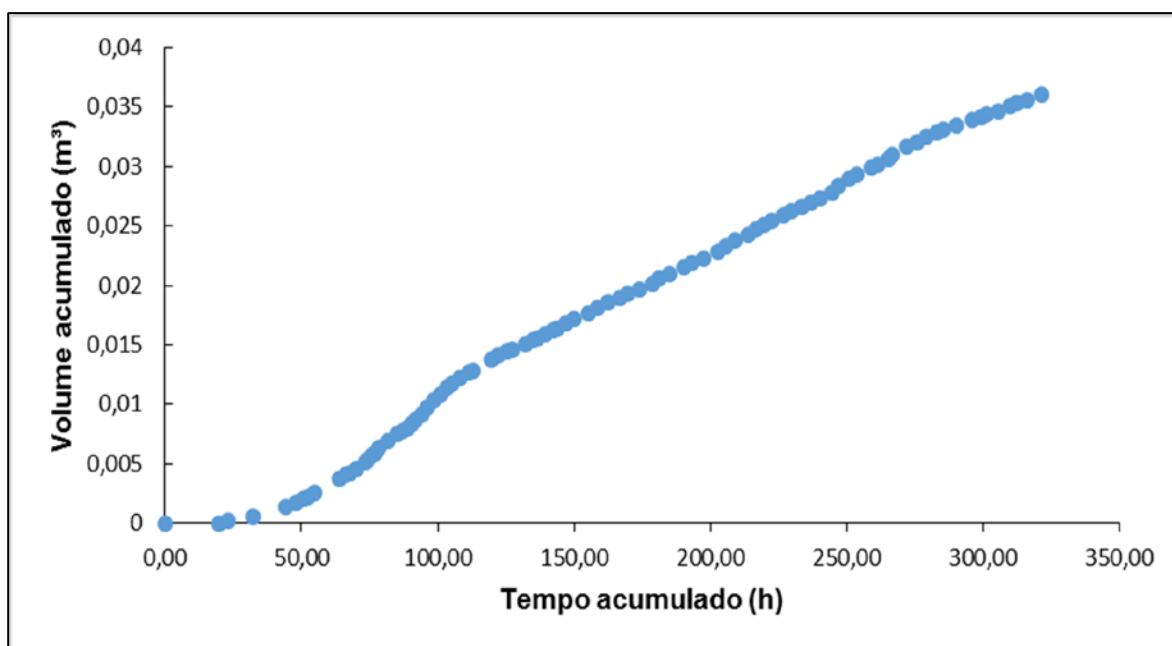


Figura 17 - Gráfico da produção de biogás acumulada reator 1.

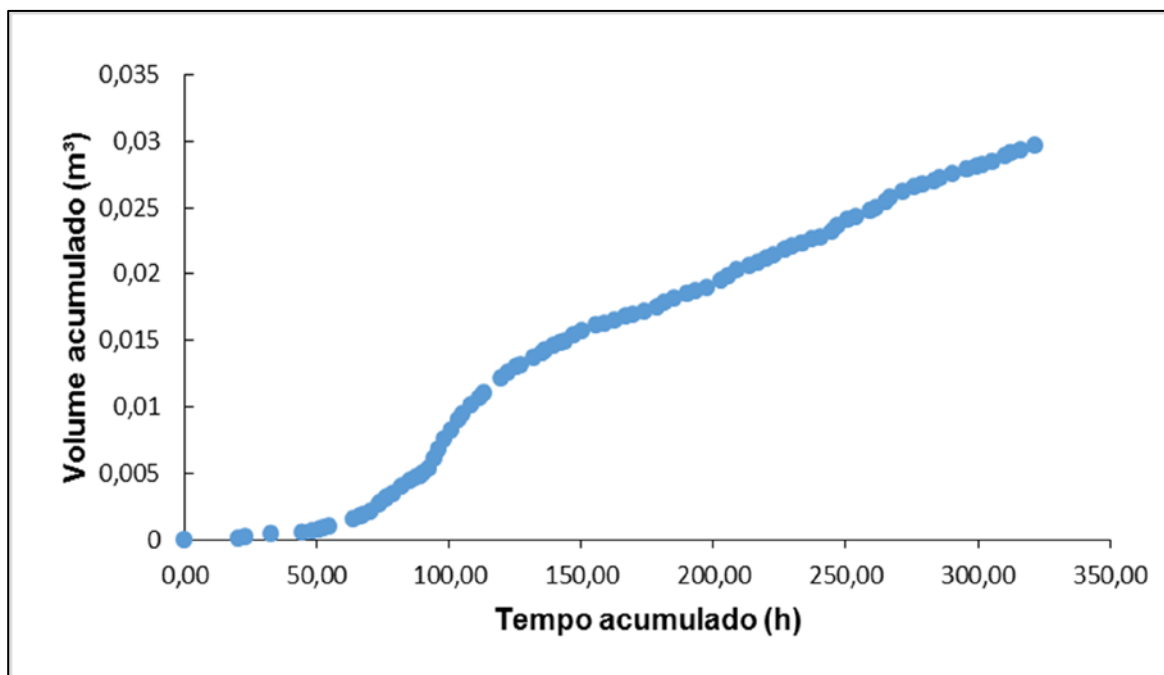


Figura 18 - Gráfico da produção de biogás acumulada reator 2.

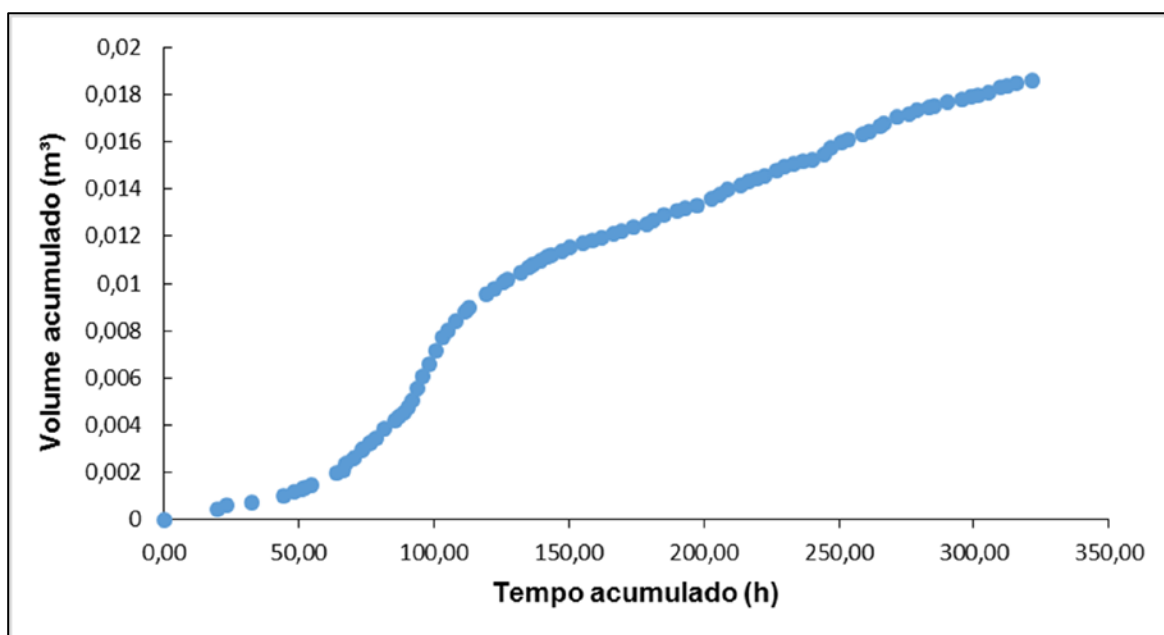


Figura 19 - Gráfico da produção de biogás acumulada reator 3.

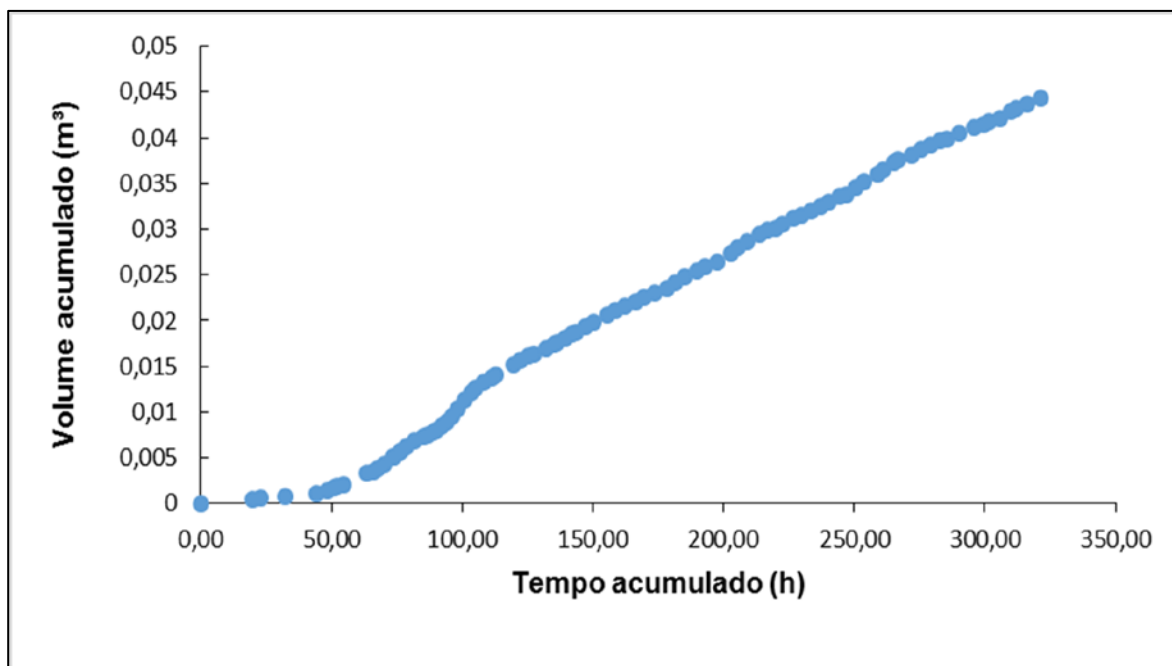


Figura 20 - Gráfico da produção de biogás acumulada reator 4.

Observando-se as Figuras 17, 18, 19 e 20 pode-se constatar que nos quatro reatores estudados, a produção de biogás apresentou um crescimento constante após as 100 horas. Após essa fase houve um período em que a produção de biogás estabilizou-se e ocorreu a redução da produção em torno das 280 horas, devido a diminuição da temperatura. O conhecimento da faixa de maior produção de biogás é fundamental para o dimensionamento do aproveitamento do biogás gerado.

Através das Figuras 21 e 22 é possível comparar de forma mais clara a produção de biogás nos reatores R1, R2, R3 e R4.

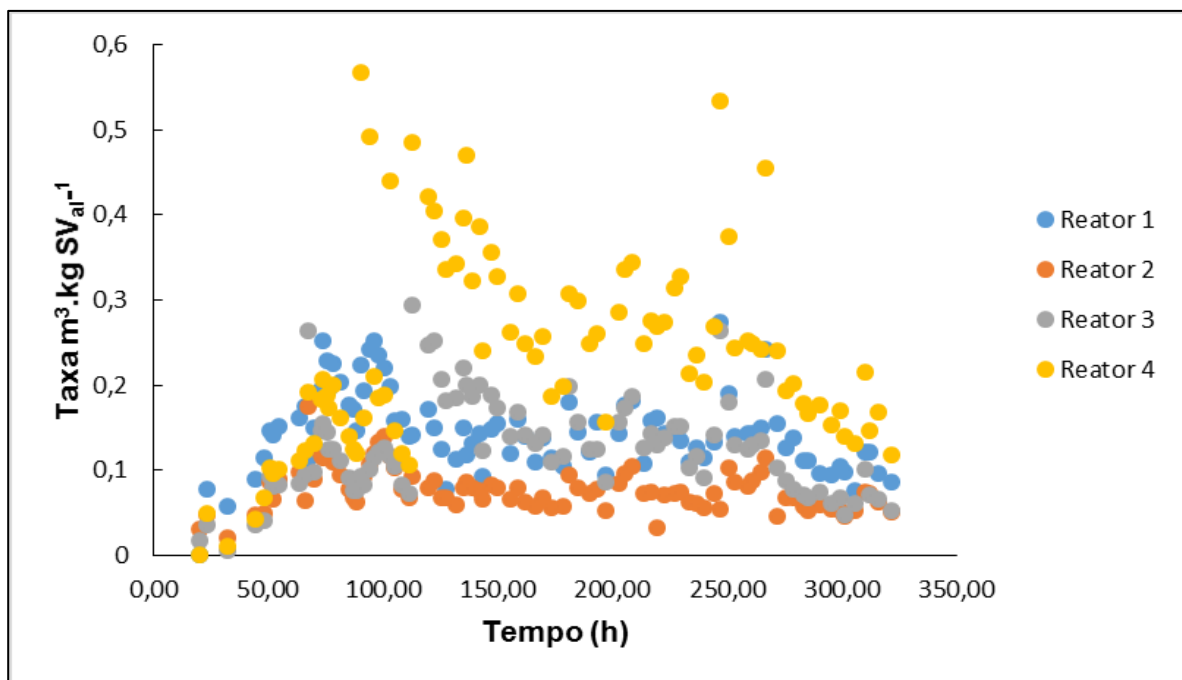


Figura 21 - Gráfico da distribuição da produção de biogás dos reatores: R1, R2, R3 e R4.

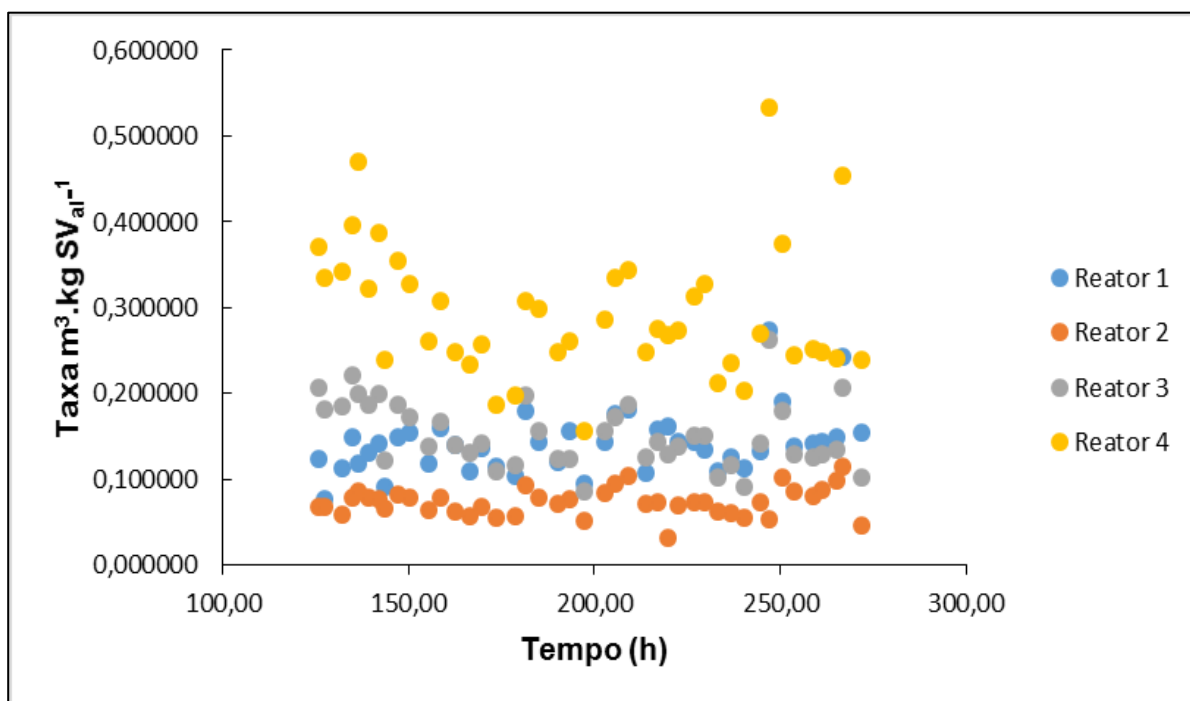


Figura 22 - Gráfico da distribuição da produção de biogás da região de estabilização dos reatores: R1, R2, R3 e R4.

A produção de biogás manteve-se estável na região entre os tempos de 120 h a 280 h, considerando todos os reatores.

Observou-se que todos os biodigestores avaliados apresentaram comportamento semelhante na produção de biogás ao longo do experimento, variando apenas nas quantidades produzidas. Este comportamento foi esperado, uma vez que, houve diferentes tratamentos e os mesmos foram realizados simultaneamente, abastecidos sempre no mesmo horário.

A quantidade de biogás produzida ocorreu em quantidades diferentes pois o que mudava era a concentração $SV_{al.}(\%)$ do substrato e o tempo de retenção hidráulica - TRH_{dias} em que o substrato permanecia nos reatores.

5.4 FATORIAL 2^2 SEM REPETIÇÕES

Neste estudo utilizou-se um fatorial 2^2 sem repetições, para avaliar o comportamento dos fatores TRH_{dias} e $SV_{al.}(\%)$ sobre a taxa de produção de biogás ($m^3.kgSV^{-1}$) (variável resposta). Foram registradas apenas as médias das observações na qual gerou-se apenas quatro respostas, como pode-se verificar na Tabela 20.

Tabela 20 - Taxa de produção de biogás, segundo o $TRH_{(dias)}$ e a quantidade de $SV_{al.}(\%)$.

Fatores				Tratamentos	Taxa de produção de biogás ($m^3.kgSV^{-1}$)
TRH (dias)		SV _{al.} (%)			
Valores reais	Valores codificados	Valores reais	Valores codificados		
5	-1	2,87	-1	T1	142,11
5	-1	7,13	1	T2	73,69
15	1	7,13	1	T3	153,06
15	1	2,87	-1	T4	295,26

A maior taxa de produção de biogás foi de $295,26m^3.kgSV^{-1}$ nas condições operacionais TRH igual a 15 dias e $SV_{al.}$ 2,87%. Uma descrição esquemática dos resultados desse experimento pode ser observada na Figura 23.

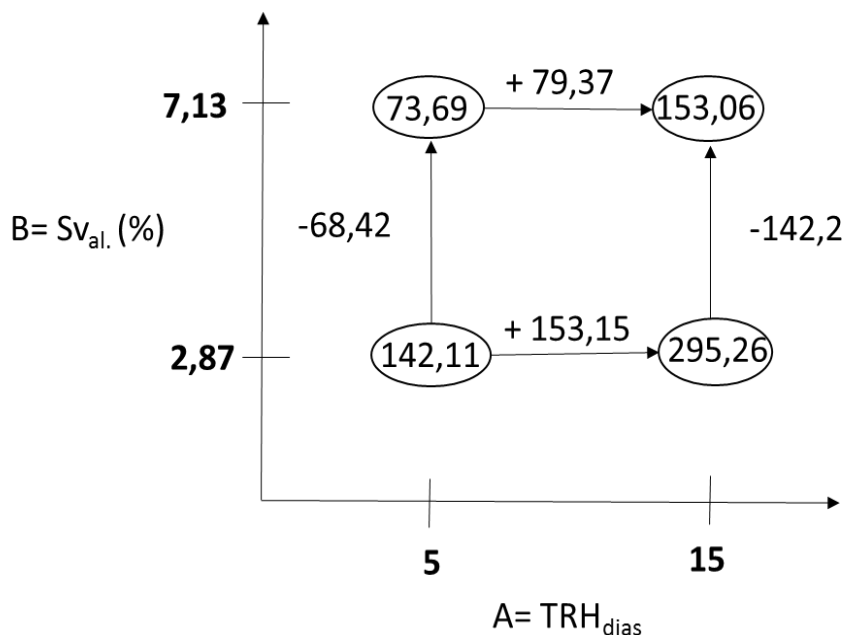


Figura 23 – Diagrama para interpretação dos resultados.

O efeito do fator TRH_{dias} pode ser entendido como a variação causada na resposta, quando percorre-se todos os níveis de TRH_{dias} , independentemente dos demais fatores. Pode-se estimar o efeito principal do TRH_{dias} como a diferença entre as taxas de produção de biogás ($m^3.kgSV^{-1}$) médias no nível alto e no baixo do TRH_{dias} . Observando a figura 23 pode-se obter a Equação 14:

$$\begin{aligned}
 TRH_{DIAS} \xrightarrow{FIGURA} \hat{A} &= \bar{Y}_{TRH(dias)+} - \bar{Y}_{TRH(dias)-} \\
 &= \frac{T_4 + T_3}{2} - \frac{T_1 + T_2}{2} = 224,16 - 107, \\
 &= 116,26
 \end{aligned} \tag{14}$$

Nesse experimento, a passagem do nível baixo (menor TRH) para o nível alto (maior TRH), levou ao acréscimo de $116,26 m^3.kgSV^{-1}$, na média da taxa estável, ou seja, um efeito positivo, quanto maior o tempo de retenção hidráulica maior foi a taxa de produção de biogás. Porém, este resultado deve ser avaliado com cautela pois em termos econômicos não é desejável um reator operando com TRH muito alto (CHERNICHARO,1997).

De modo análogo, para o efeito principal do $SV_{al.(\%)}$, tem-se (Equação 15):

$$\begin{aligned}
 SV_{al.(\%)} \xrightarrow{\text{figura}} \hat{B} &= \bar{Y}_{SV_{al.(\%)+}} - \bar{Y}_{SV_{al.(\%)-}} = \frac{T_2 + T_3}{2} - \frac{T_1 + T_4}{2} \quad (15) \\
 &= 113,26 - 218,685 = -105,31
 \end{aligned}$$

Então, nesse experimento, a passagem da alimentação do nível baixo (com menor quantidade $SV_{al.(\%)}$) para alimentação do nível alto (com maior quantidade $SV_{al.(\%)}$), levou a diminuição de $105,31 \text{ m}^3 \cdot \text{kgSV}^{-1}$, na média da taxa de produção de biogás.

Quando alimentado a 2,87% de SV a produção de biogás foi de 295 m^3 para cada kg de SV enquanto que quando alimentado a 7,13% de SV a produção de biogás foi de 153 m^3 para cada kg, ou seja, gerando uma maior conversão da matéria orgânica $SV_{al.(\%)}$ nos baixos níveis de sólidos voláteis, isso aconteceu por que supõe-se que ao aumentar a quantidade de $SV_{al.(\%)}$ aumentou-se também a quantidade de $ST_{al.(\%)}$ acarretando problemas de fluxo de alimentação permitindo a entrada de ar, pois ao alimentar o reator com elevada quantidade de SV pode-se obter problemas de obstrução e também pode-se supor que ocorra a intoxicação das bactérias, já que trata-se de uma alimentação caracterizada como sólida.

Neste modelo, tem-se apenas uma interação de primeira ordem, isto é, uma interação entre os níveis de dois fatores. O efeito da interação de primeira ordem pode ser entendido como a variação causada na resposta, quando se fez variar os níveis de um dos fatores 'dentro' de cada nível do outro.

A estimativa do efeito da interação pode ser obtida, como a diferença entre as médias determinadas pelas diagonais principal e secundária (Equação 16).

$$\begin{aligned}
 TRH_{dias} \times SV_{al.(\%)} \xrightarrow{\text{figura}} \hat{AB} &= \frac{T_3 + T_1}{2} - \frac{T_4 + T_2}{2} \quad (16) \\
 &= \frac{T_1 - T_4 - T_2 - T_3}{2} = -36,89
 \end{aligned}$$

Neste delineamento não tem-se graus de liberdade para o resíduo, pois não houve repetibilidade nos tratamentos, por isso não é possível efetuar qualquer inferência sobre as respostas. Em outras palavras, se não há resíduo então não há erro padrão e, portanto, não é possível construir estimativas por intervalos, testes de hipóteses e obtenção de previsões.

Apenas a estatística descritiva é aceitável. Assim, pode-se obter estimativas por ponto para os efeitos e para os coeficientes de regressão (Tabela 21) e construir as curvas de contornos, e assim por diante. Isto quer dizer que podemos apenas e tão somente descrever a amostra obtida, mas, jamais efetuar qualquer tipo de conclusão sobre a população da qual foi extraída essa amostra de quatro respostas.

Tabela 21 - Estimativas por ponto.

Fatores	Efeitos	Coefficientes
Média	166,03	166,03
TRH (dias)	116,26	58,14
SV _{al.} (%)	-105,31	-52,66
TRH (dias) x SV _{al.} (%)	-73,78	-18,45

O valor dos contrastes são os mesmos que as Taxas de produção de biogás ($\text{m}^3.\text{kgSV}^{-1}$), pois o delineamento é sem repetições. O valor dos contrastes e as somas dos quadrados são apresentados na Tabela 22.

Tabela 22 - Contrastes com totais.

Contrastes	Totais	Valor do contraste	Soma de quadrados dos coeficientes
A = T4 + T3 - T1 - T2	295,26 + 153,06 - 142,11 - 73,69	232,52	4
B = T2 + T3 - T1 - T4	73,69 + 153,06 - 142,11 - 295,26	-210,62	4
AB = T3 + T1 - T4 - T2	153,06 + 142,11 - 295,26 - 73,69	-73,78	4

A estimativa de β_0 é a média geral das respostas: $\beta_0 = 166,03$ e, as estimativas dos demais parâmetros são iguais as metades das estimativas dos efeitos correspondentes. Os valores de β_1 β_2 β_3 (Equação 17, 18 e 19), foram calculados de acordo com a Equação 1.

$$\beta_1 = \frac{A}{2} = \frac{116,26}{2} = 58,14 \quad (17)$$

$$\beta_2 = \frac{B}{2} = \frac{-105,31}{2} = -52,66 \quad (18)$$

$$\beta_{12} = \frac{AB}{2} = \frac{-73,78}{2} = -18,45 \quad (19)$$

Assim, o modelo codificado ajustado, fica conforme a Equação 20:

$$Y = 166,03 + 58,14.X1 - 52,66.X2 - 18,45.X1.X2 \quad (20)$$

Onde:

x₁: valor codificado do TRH_{dias};

x₂: valor codificado do SV_{al.}.

O modelo real (não codificado) é dado pela Equação 21.

$$Y = 86,75 + 20,29 TRH_{dias} - 7,41 SV_{al.} - 1,74 TRH_{dias} SV_{al.} \quad (21)$$

5.4.1 Análise de Variância

A soma de quadrados inerentes aos fatores, foram calculadas através dos respectivos contrastes construídos com os totais. As somas de quadrados podem ser obtidas elevando-se ao quadrado a estimativa do contraste e, dividindo-se o resultado pelo produto entre a soma de quadrados dos coeficientes do contraste e o número de repetições. Assim com base na Tabela 22, temos diretamente (Equação 22, 23 e 24):

$$SQ(A) = SQ (TRH_{dias}) = \frac{[A]^2}{4r} = \frac{[232,52]^2}{4 \times 1} = 13516,39 \quad (22)$$

$$SQ(B) = SQ_{SV_{al.(\%)}} = \frac{[B]^2}{4r} = \frac{[-210,62]^2}{4 \times 1} = 11090,19 \quad (23)$$

$$SQ(AB) = SQ (TRH_{(dias)} \times SV_{al.(\%)}) = \frac{[AB]^2}{4r} = \frac{[-73,78]^2}{4 \times 1} = 1360,87 \quad (24)$$

A Soma Quadrática (SQ) Total Corrigida e a SQ Resíduo são calculadas através das Equações 25 e 26 conforme segue:

$$SQT_c = \sum_{ijr} y_{ijr}^2 - ny^2 = 136231,2936 - 4 * (166,03)^2 = 25967,45 \quad (25)$$

$$SQRes = SQT_c - SQ (A) - SQ(B) - SQ(AB) = zero \quad (26)$$

Na Tabela 23 tem-se a decomposição da soma dos quadrados.

Tabela 23 - Decomposição da soma dos quadrados.

Fontes de variação	Graus de Liberdade	Soma de Quadrados (SQ)	Quadrados Médios (QM)	F _{cal}	P _{valor}
TRH (dias)	1	13516,39	13516,39	Impossível	Impossível
SV _{al.} (%)	1	11090,19	11090,19		
TRH (dias) x SV _{al.} (%)	1	1360,87	1360,87		
Resíduo	Zero	Zero	Zero		
Total	3	25967,45	-	R ² =100,00% n: n°. total de ensaios; p: n°. de parâmetros do modelo	

$$R^2 \% = 100 \times \left(\frac{\text{Variação explicada pelo modelo}}{\text{Variação total}} \right) = \quad (27)$$

$$\frac{100 \times 13516,39 + 11090,19 + 1360,87}{25967,45} = 100,00\%$$

A partir dos dados da Tabela 23 pode-se observar que não tem graus de liberdade para o resíduo e mesmo que se possa apresentar o modelo com os coeficientes da Tabela 23 e construir as curvas de contorno e o Diagrama de Pareto Figura (24, 25), não há qualquer valor científico nisso, além da descrição da amostra.

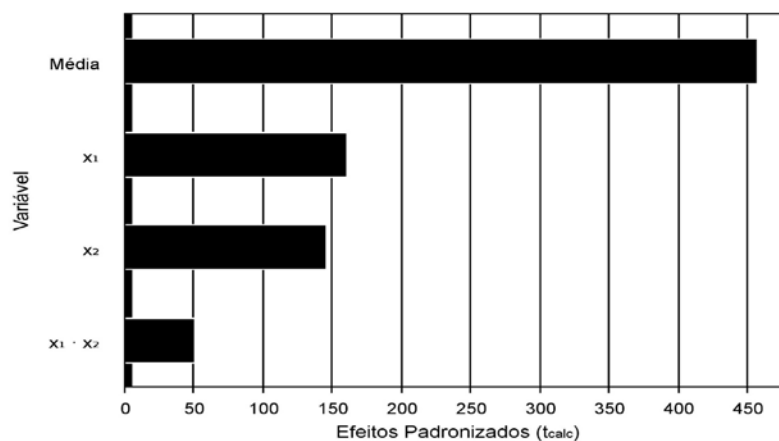


Figura 24 - Diagrama de Pareto com os valores dos efeitos.

O Diagrama de Pareto pode ser construído, no entanto, como não há erro padrão e, portanto não é possível obter o valor de $t_{Calc.}$, as barras do diagrama são construídas com os valores dos efeitos, contendo apenas caráter descritivo.

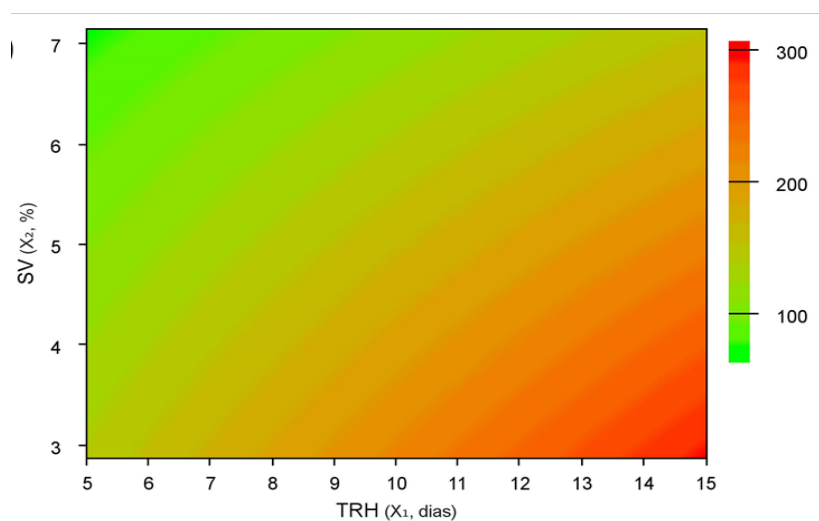


Figura 25 - Curva de contorno em função dos tratamentos estudados.

Dentro da faixa de dados estudada a cor vermelha indica a região com taxas de produção de biogás acima de $250 \text{ m}^3.\text{kgSV}^{-1}$. Observando os dados encontrados, conclui-se que uma boa opção de operação de reatores seria com TRH sendo aproximadamente de 14 dias e com alimentação (SV%) abaixo de 5%.

Através da curva de contorno (Figura 25) obtém-se uma tendência para as condições de TRH_{dias} e SV_{al.} que geram maior produção de biogás. A otimização não foi possível. Em termos práticos mesmo com a grande variabilidade inerente aos bioprocessos que envolvem microrganismos, obteve-se produção de biogás.

5.5 QUALIDADE DO BIOGÁS PRODUZIDO

A qualidade do biogás foi avaliada em termos da concentração de CH₄, CO₂ e H₂S. Os cromatogramas são demonstrados na Figura 26. Os cromatogramas fornecem uma impressão digital da composição do biogás e todos apresentaram os mesmos picos, sendo o primeiro de ar (N₂+O₂) e na sequência, metano (CH₄), dióxido de carbônico CO₂, sulfeto de hidrogênio (H₂S) e vapor de água (H₂O_(v)). Na Tabela 24 são apresentadas as concentrações de cada componente baseado em curvas de calibração pré-estabelecidas e já apresentadas no decorrer deste trabalho.

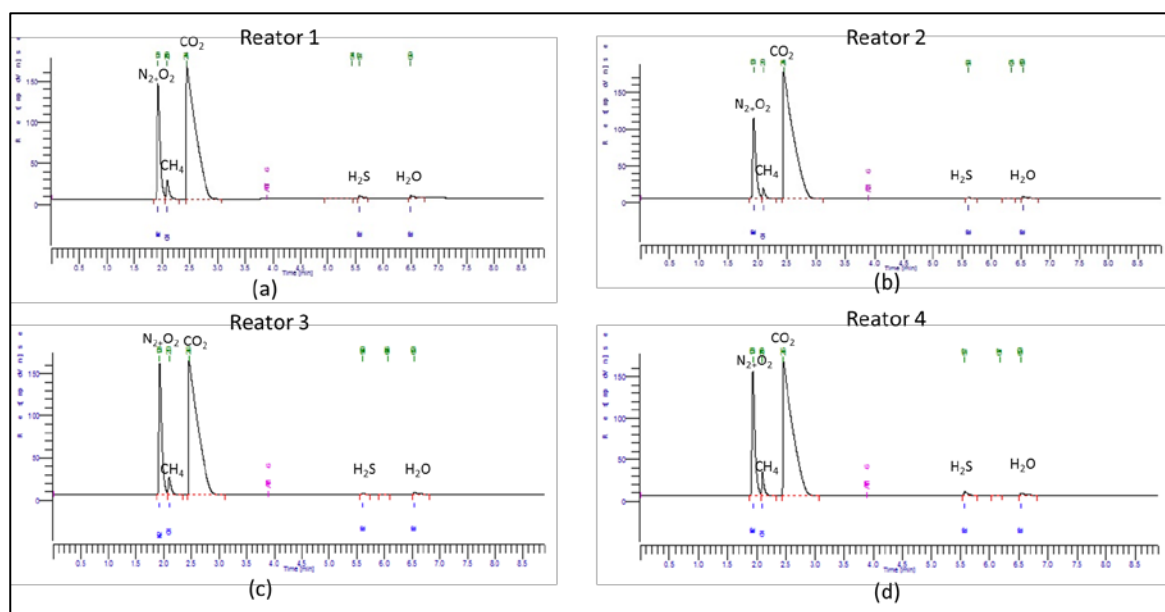


Figura 26 - Cromatogramas obtidos através das análises de biogás para os 4 reatores: R1, R2, R3 e R4.

Tabela 24 - Qualidade do biogás produzido nos reatores estudados: R1, R2, R3 e R4.

Componentes	Reator 1	Reator 2	Reator 3	Reator 4
CH ₄ (%)	13,39 ± 0,06	11,72 ± 0,24	12,99 ± 0,01	13,93 ± 0,01
CO ₂ (%)	77,29 ± 2,64	76,48 ± 9,16	72,69 ± 0,83	75,39 ± 0,61
H ₂ S (%)	0,64 ± 0,02	0,19 ± 0,03	0,26 ± 0	0,97 ± 0,01

A Figura 26 e a Tabela 24 demonstram as porcentagens de CH₄, CO₂ e H₂S presentes nos quatro reatores estudados.

Costa (2009), encontrou valores entre 70 e 90 % de metano em biogás, em tratamentos que continham cama de frango diluída em biofertilizante e água e cama de frango diluída em biofertilizante ambos sem a separação de sólidos, respectivamente, valores bem maiores que os encontrados nesse trabalho que foi em média de 12,05 % de metano.

Fukayama (2008), encontrou em média valores de 82,5 % de CH₄ em substratos de cama de frango de primeiro de lote com casca de amendoim sem separação de sólidos diluídas em água.

Aires (2009), trabalhando com cama de frango composta por casca de amendoim com diferentes reutilizações com e sem separação de sólidos, comparou a

produção de metano e chegou a resultado de 81,35 e 78,92 % de CH₄ para cama de 1º lote e 85,98 e 81,98 % para cama de 3º lote, ambas com e sem separação de sólidos respectivamente.

A composição do biogás foi próxima entre si nos quatro tratamentos estudados, porém não está de acordo com a literatura citada, pois a concentração de CH₄ é relativamente baixa enquanto que a concentração de CO₂ é alta.

Em processos de biodigestão anaeróbia, comumente nas primeiras fases há uma maior concentração (%) de CO₂, devido ao estágio que envolve as bactérias fermentativas, compreendendo microrganismos anaeróbios e facultativos, logo em seguida há o aumento na concentração de CH₄ caracterizando a formação de biogás.

O biogás é formado principalmente por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), gás amônia (NH₃), sulfeto de hidrogênio (H₂S) e nitrogênio (N₂), sendo o metano um combustível por excelência e o biogás é mais puro quanto maior for o teor de metano (LUCAS JR, 1994), e nesse trabalho em ambos os tratamentos, foi observado que o teor de metano foi sempre menor em comparação ao teor de dióxido de carbono.

O biogás gerado pelos reatores não possui boa qualidade pois espera-se que o gás seja composto de 60-70% por metano. A pouca produção de metano pode ser explicada pela entrada de ar no sistema durante as alimentações. Para que o biogás possa ser utilizado como combustível, a porcentagem de metano na mistura deve ser suficiente para atingir o limite inferior de explosividade.

5.6 CARACTERIZAÇÃO AFLUENTE/ EFLUENTE

5.6.1. Caracterização em Relação aos Sólidos Voláteis (SV)

Na Tabela 25 estão apresentadas a caracterização afluente/efluente dos reatores. Através da Tabela 25 observa-se que houve a conversão dos SV em produtos da biodigestão de forma estável. Também demonstra a biodigestão como forma de tratamento preliminar e como uma fonte de energia renovável.

Tabela 25 - Caracterização afluente/efluente em relação aos sólidos totais voláteis.

Reator	TRH dias	SV _{al.} (%)	SV ¹ (%)	SV ² (%)	SV ³ (%)	SV ⁴ (%)	SV ⁵ (%)
R1	5	2,87	3,32 ± 0,042	1,63 ± 0,0005	1,12 ± 0,0004	1,31 ± 0,0002	1,50 ± 0,0015
R2	5	7,13	14,54 ± 0,0062	1,61 ± 0,0005	4,86 ± 0,0001	4,16 ± 0,0046	5,02 ± 0,0058
R3	15	7,13	15,38 ± 0,0069	1,69 ± 0,0015	1,84 ± 0,003	2,28 ± 0,0014	2,18 ± 0,0017
R4	15	2,87	1,58 ± 0,0014	1,03 ± 0,0029	1,11 ± 0,0005	1,42 ± 0,0012	1,38 ± 0,0001

Legenda: 1 refere-se ao início do experimento; 2 refere-se aos resultados obtidos nas análises do dia 27/09; 3 refere-se aos resultados obtidos nas análises do dia 29/09; 4 refere-se aos resultados obtidos nas análises do dia 01/10; 5 refere-se aos resultados obtidos nas análises do dia 03/10.

Durante a biodigestão anaeróbia as reduções de SV se dão devido à conversão da matéria orgânica presente no biogás. Apesar disso, a redução de SV encontrada no reator 3 (85,82%), reator 2 (65,47%) e reator 1 (54,81) ficou acima do esperado quando comparada aos estudos realizados por Fukayama (2008), que encontrou reduções de 16,10 a 47,24% durante a biodigestão anaeróbia de cama de frango (TDH de 46 dias) com diferentes reutilizações dentro dos galpões de aves e usando casca de amendoim como material absorvente. Já o reator 4, obteve uma taxa menor de redução de SV que foi de (12,65%).

Em termos de tratamento do resíduo o reator 3 foi o que obteve o melhor desempenho no tratamento, mas isto não significa que foi o reator que obteve maior conversão em metano.

5.6.2. Caracterização em Relação a Alcalinidade e aos Ácidos Graxos Voláteis

Os microrganismos metanogênicos, apresentam-se mais suscetíveis às alterações de pH quando comparados aos demais microrganismos anaeróbios. A relação acidez volátil/alcalinidade total (AV/AT) é um importante indicador da estabilidade do processo de digestão anaeróbia e, é utilizada para determinar o

desempenho de reatores anaeróbios, pois permite prever e evitar a queda de pH (CHERNICHARO, 1997).

Através das Tabelas 26, 27 e 28 é possível observar as alcalinidades afluente/efluente dos reatores ao longo do tempo analisado.

Tabela 26 - Variação da alcalinidade e acidez volátil dos efluentes dos reatores conforme as datas de alimentação.

Reator	TRH dias	SV _{al} (%)	Início					27/09				
			AP mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AI mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AT mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AV mgHA _c .L ⁻¹	AV/AT	AP mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AI mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AT mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AV mgHA _c .L ⁻¹	AV/AT
R1	5	2,87	5898,08	5898,01	14808,11	4823,40	0,22	3154,57	11080,44	14235,02	7593,16	0,26
R2	5	7,13	5562,97	5229,18	23631,59	11003,27	0,47	4442,77	15863,45	20306,22	15783,13	0,38
R3	15	7,13	3375,38	17972,55	14867,19	11643,21	0,47	3821,84	6694,78	10516,61	12996,85	0,45
R4	15	2,87	6167,26	7809,86	16185,31	5966,29	0,35	2218,02	6984,42	9202,45	7305,33	0,39

Tabela 27 - Variação da alcalinidade e acidez volátil dos efluentes dos reatores conforme as datas de alimentação.

Reator	TRH dias	SV _{al} (%)	29/09					01/10				
			AP mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AI mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AT mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AV mgHA _c .L ⁻¹	AV/AT	AP mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AI mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AT mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AV mgHA _c .L ⁻¹	AV/AT
R1	5	2,87	2531,70	13876,53	17408,23	7711,21	0,23	2434,649	8149,667	10584,32	9456,68	0,22
R2	5	7,13	3914,08	15572,79	19486,87	19045,35	0,48	4190,526	16684,02	20874,54	21332,64	0,49
R3	15	7,13	2585,72	7629,28	9057,97	11429,37	0,32	3215,92	12659,52	15875,45	14379,79	0,45
R4	15	2,87	2299,43	7996,93	10296,37	8967,80	0,43	2489,50	8398,32	10887,82	7450,51	0,34

Tabela 28 - Variação da alcalinidade e acidez volátil dos efluentes dos reatores conforme as datas de alimentação.

Reator	TRH dias	SV _{al} (%)	03/10				
			AP mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AI mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AT mgCaCO ₃ .L ⁻¹	AV mgHA _c .L ⁻¹	AV/AT
R1	5	2,87	2887,139	8950,131	11837,27	10000	0,20
R2	5	7,13	4683,973	17635,44	22319,41	91941,31	0,49
R3	15	7,13	3897,11,	13328,14	17225,25	13936,09	0,40
R4	15	2,87	3494,624	10752,69	10887,82	9903,22	0,34

A alcalinidade do sistema, sendo o suficiente, acarreta o tamponamento do pH no reator, evitando assim que o acúmulo de ácidos voláteis resulte na queda de pH. Uma faixa de alcalinidade de 1500 a 2500 mgCaCO₃.L⁻¹ é considerada desejável. Se o processo for operado com acúmulo de ácidos orgânicos, é possível trabalhar com valores da ordem de 500 a 1000 mgCaCO₃.L⁻¹ (CHERNICHARO, 1997).

Os principais indicadores de distúrbios nos processos anaeróbios são o aumento na concentração de ácidos voláteis, aumento da porcentagem de CO₂ no biogás, diminuição do pH, diminuição na produção total de gás e diminuição na eficiência do processo. A importância da alcalinidade é manter o sistema sempre em equilíbrio, para que não varie o pH mesmo com a produção de H⁺. O pH varia menos quando ocorre mudanças na alcalinidade a altas concentrações de CaCO₃.

A concentração de ácidos graxos voláteis no efluente também denominados de ácidos voláteis, tais como o acético, butírico e propiônico, em um sistema anaeróbico ótimo, se encontra no intervalo de 50 a 250 mg L⁻¹.

Quando ocorre o rompimento na relação simbiótica entre acidogênicos e metanogênicos há o acúmulo de ácidos graxos voláteis e, conseqüentemente a inibição das metanogênicas.

Observando as Tabelas 26, 27 e 28 de alcalinidades e de acidez volátil percebe-se que todos os reatores encontram-se acima dos níveis desejáveis, porém de acordo com Foresti, (1994) é possível que a estabilidade do processo ocorra para diferentes valores de alcalinidade e acidez volátil, sendo prudente a verificação para cada caso em particular.

As Figuras 27, 28, 29 e 30 ilustram as variações da relação Acidez Volátil / Alcalinidade Total (AV/AT) de acordo com o tempo (dias) para os quatro reatores estudados.

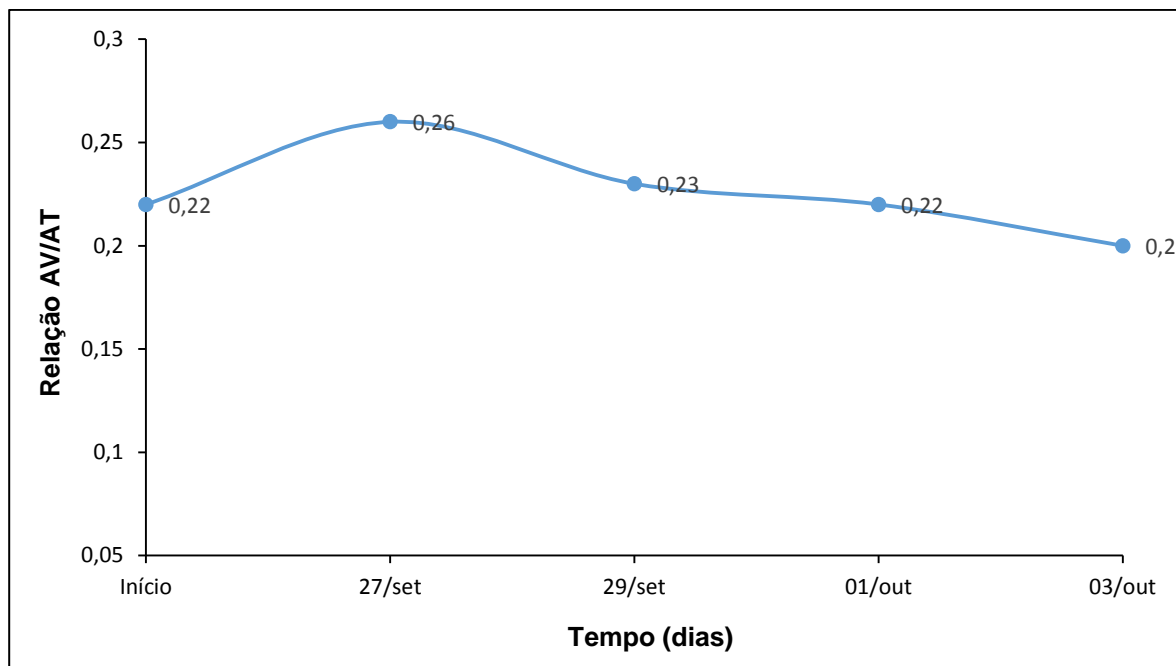


Figura 27 - Gráfico da relação AV/AT para o reator 1.

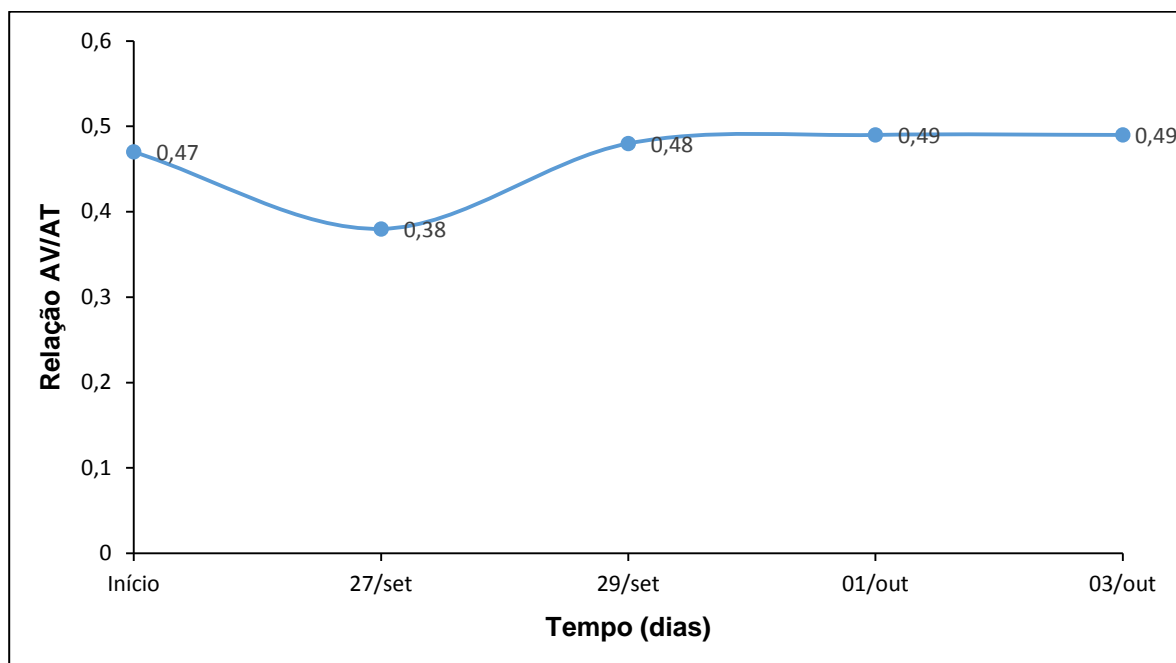


Figura 28 - Gráfico da relação AV/AT para o reator 2.

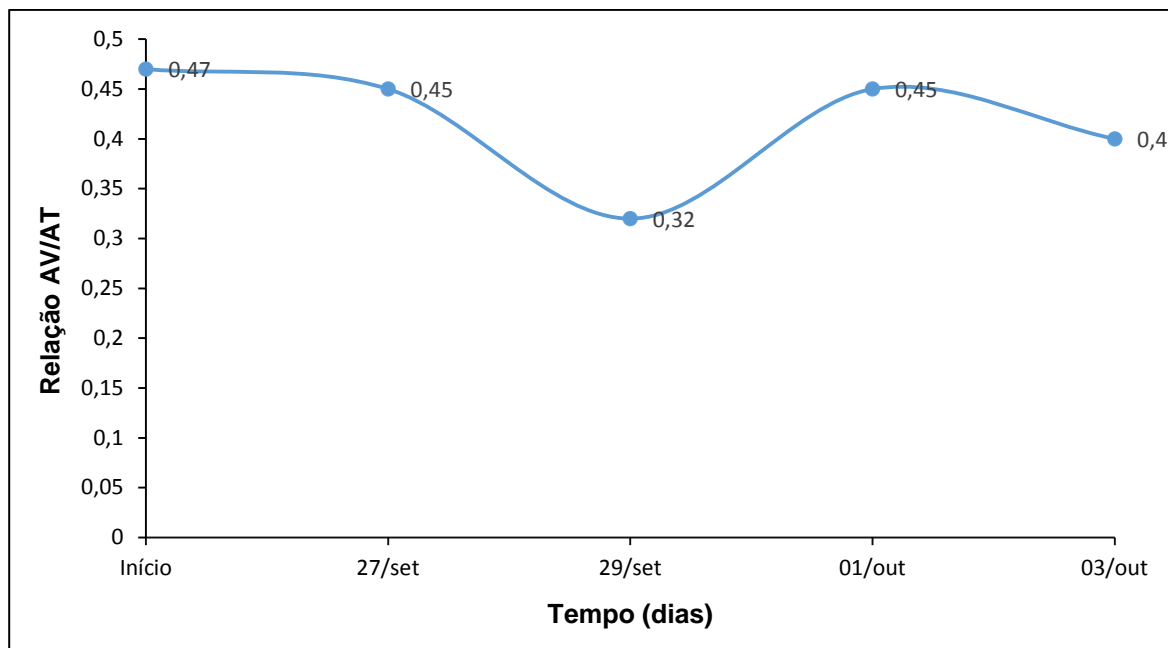


Figura 29 - Gráfico da relação AV/AT para o reator 3.

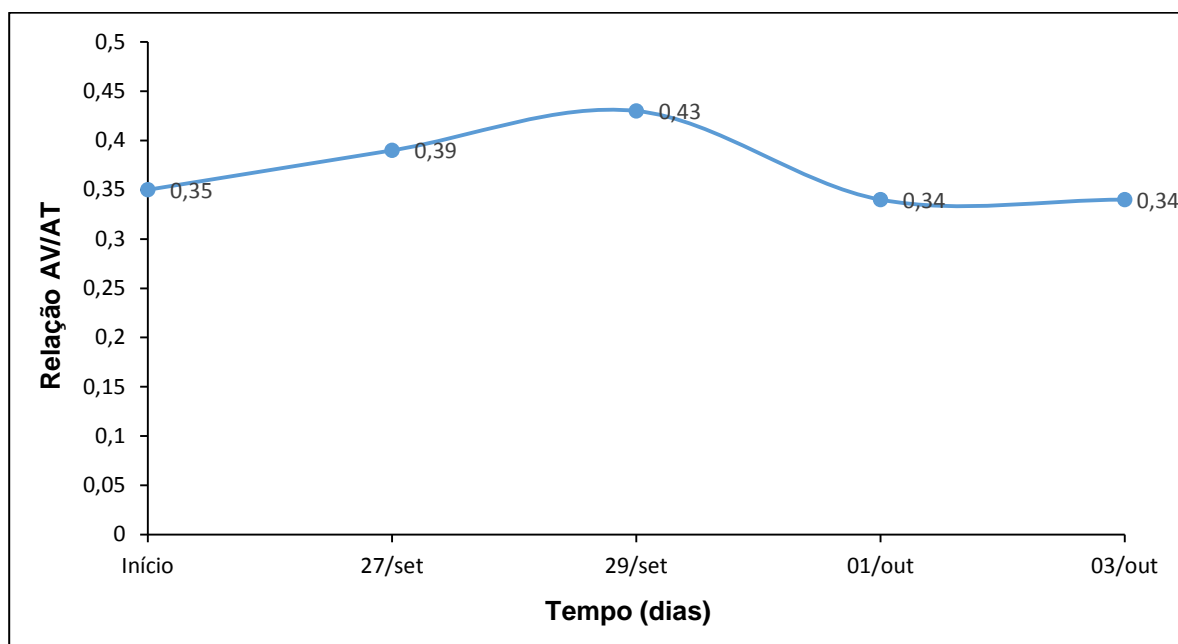


Figura 30 - Gráfico da relação AV/AT para o reator 4.

De acordo com Chernicharo (1997) uma relação AV/AT entre 0,10 e 0,30 é típica de reatores bem operados, acima de 0,40 indica a instabilidade do processo e superior a 0,80 pode indicar colapso no processo. De acordo com as Figuras 27, 28, 29 e 30 é possível perceber que a relação AV/AT desde o início e no decorrer dos dias do experimento manteve-se próxima ao valor ideal de 0,30 apresentando algumas

variações acima de 0,40 que podem não ter interferido no processo já que ocorreu a produção de biogás.

5.6.3. Caracterização em Relação as Análises Físico-químicas

A Tabela 29 contém as características físico-químicas encontradas através das análises afluente/ efluente realizadas para os quatro reatores.

Tabela 29 – Características em relação as análises físico-químicas de COT, N, F e S presentes nos afluentes/efluentes dos reatores estudados.

Reator	TRH dias	SV _{al.} (%)	Carbono Orgânico Total (%)		Nitrogênio (%)		Fósforo (%P ₂ O ₅)		Enxofre (%)	
			Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
R1	5	2,87	4,63 ± 0,02	0 ± 0	0,2636± 0,0331	0,1390 ± 0,0046	ND	ND	0,4600 ± 0,6325	0,1942 ± 0,2746
R2	5	7,13	13,91 ± 0,22	0 ± 0	0,7624 ± 0,0890	0,4136 ± 0,0121	ND	ND	7,6831 ± 3,1809	2,7095 ± 1,7413
R3	15	7,13	13,91± 0,22	0 ± 0	0,8223 ± 0,0592	0,1840 ± 0,0293	ND	ND	7,6831 ± 3,1809	1,0191 ± 1,2792
R4	15	2,87	4,63 ± 0,02	0 ± 0	0,2636 ± 0,0331	0,1320 ± 0,0012	ND	ND	0,4600 ± 0,6325	0,5316 ± 0,3390

Legenda: ND refere-se a não detectado.

De modo geral observa-se que os tratamentos se diferiram no percentual de redução entre si, para os teores de carbono orgânico, nitrogênio e enxofre nos afluentes e efluentes avaliados. Os teores de nitrogênio e enxofre foram os que obtiveram os maiores resultados de redução, nos tratamentos dos reatores 1,2,3 e 4. Já para teores de fósforo tanto no afluente quanto no efluente não foi possível quantificar, pois, a concentração foi <20ppm.

Os teores de N e S foram os mais significativos para os tratamentos dos reatores 2 e 3, observando-se maiores valores no efluente em relação aos demais nutrientes, o que evidencia que os minerais ficaram muito mais concentrados nesse tipo de tratamento. É importante considerar que o aumento da concentração de nutrientes pode contribuir para melhoria nas produções de biogás, pois oferece um meio mais propício ao desenvolvimento dos microrganismos anaeróbios, assim como permite a obtenção de um efluente com maior concentração de elementos fertilizantes.

Portanto, esse tipo de associação da CA+ES, exerce uma grande importância, para o produtor que trabalha com a criação de aves e com sistemas de integração lavoura/pecuária, minimizando os custos com fertilizantes químicos, utilizando assim o biofertilizante como uma fonte alternativa na propriedade.

Outra importante conclusão é que o COT do efluente foi totalmente consumido pelas bactérias, demonstrando que os resíduos têm potencial na produção de biogás e também que a biodigestão pode servir como forma de tratamento pois reduz consideravelmente a matéria orgânica, constituindo uma grande vantagem ambiental.

5.6.4. Caracterização em Relação as Análises de Macro e Micronutrientes

Nas Tabelas 30, 31, 32 e 33 encontram-se as características referentes aos macros e micronutrientes avaliados tanto no afluente quanto no efluente dos reatores estudados.

Tabela 30 - Características em relação aos macronutrientes presentes nos afluentes/efluentes e seus respectivos percentuais de redução (%)/acúmulo.

Reator	TRH dias	SV _{al.} (%)	Macronutrientes (ppm)								
			Ca			K			Mg		
			Afluente	Efluente	%redução	Afluente	Efluente	%redução	Afluente	Efluente	%redução
R1	5	2,87	277,23	313,79	-9,55	0	0	0	326,07	543,80	-66,72
R2	5	7,13	1575,30	216,96	-0,60	2613,33	0	100	765,508	627,72	17,99
R3	15	7,13	1947,49	166,47	-5,98	3754,24	1381,10	63,21	1011,27	356,65	64,73
R4	15	2,87	131,06	307,87	24,69	1155,33	1196,96	-3,60	205,60	322,36	-56,79

Tabela 31 - Características em relação aos micronutrientes presentes nos afluentes/efluentes e seus respectivos percentuais de redução (%)/acúmulo.

Reator	TRH dias	SV _{al.} (%)	Micronutrientes (ppm)								
			Cr			Mn			Na		
			Afluente	Efluente	%redução	Afluente	Efluente	%redução	Afluente	Efluente	%redução
R1	5	2,87	0,3	0	100	7,88	0	100	525,06	575,23	-9,55
R2	5	7,13	0,73	0	100	59,93	27,51	54,10	617,87	621,57	-0,60
R3	15	7,13	0	0,28	0	64,95	30,88	52,44	881,78	934,56	-5,98
R4	15	2,87	0,73	0	100	0	2,41	0	492,20	370,65	24,69

Tabela 32 - Características em relação aos micronutrientes presentes nos afluentes/efluentes e seus respectivos percentuais de redução (%)/acúmulo.

Reator	TRH dias	SV _{al.} (%)	Micronutrientes (ppm)								
			Ni			Zn			Cd		
			Afluente	Efluente	%redução	Afluente	Efluente	%redução	Afluente	Efluente	%redução
R1	5	2,87	1,71	0	100	2,52	0,07	95,71	0,33	0	0
R2	5	7,13	2,72	0	100	6,83	1,97	59,69	0,42	0,38	10,42
R3	15	7,13	2,37	1,67	29,35	6,77	0	100	0,80	0,16	76,05
R4	15	2,87	2,63	0,98	52,66	1,61	0	100	0,20	0,19	19,85

Tabela 20 - Características em relação aos micronutrientes presentes nos afluentes/efluentes e seus respectivos percentuais de redução (%)/acúmulo.

Reator	TRH dias	SV _{al.} (%)	Micronutrientes (ppm)								
			Cu			Fe			Pb		
			Afluente	Efluente	%redução	Afluente	Efluente	%redução	Afluente	Efluente	%redução
R3	15	7,13	3,94	0	100	429,61	24,56	94,28	ND	ND	ND
R4	15	2,87	0	0	100	66,75	24,71	65,97	ND	ND	ND
R2	5	7,13	3,68	3,37	8,48	313,12	184,99	40,91	ND	ND	ND
R1	5	2,87	0,56	0	100	132,53	32,79	75,25	ND	ND	ND

Legenda: ND refere-se a não detectado.

Observa-se através das porcentagens de redução que durante todo o período avaliado, houve uma redução nos teores de macro e micronutrientes no efluente, com exceção para os teores de Sódio (Na) nos reatores 1, 2 e 3, Cálcio (Ca) nos reatores 1,2 e 3, Magnésio (Mg) nos reatores 1 e 4, que apresentou uma elevação em seus teores no material de saída, ou seja, acúmulo.

A redução é considerada normal em operações de biodigestores contínuos, todavia esse acréscimo na concentração do efluente, em comparação com o afluente, é em função da redução da fração orgânica, por meio da produção de biogás, na qual haveria concentração dos constituintes inorgânicos.

6 CONCLUSÃO

A codigestão de cama de aviário com efluente de beneficiamento de carne suína na produção de biogás pode ser considerada uma opção viável, para a cama de aviário sob o ponto de vista energético, e como um prévio tratamento ambiental.

De acordo com os dados apresentados, conclui-se que a inclusão de efluente de beneficiamento de carne suína, no processo de biodigestão anaeróbia da cama de aviário, foi eficaz para a produção de biogás, porém com baixas concentrações de metano.

Todos os reatores avaliados apresentaram comportamento semelhante na produção de biogás, porém o reator 4 alimentado com 2,87% de SV e com TRH de 15 dias foi o que mais produziu biogás ($295,26 \text{ m}^3.\text{kgSV}^{-1}$) e o reator que menos produziu biogás ($73,69 \text{ m}^3.\text{kgSV}^{-1}$), foi o reator 2 alimentado com 7,13% de SV e com TRH de 5 dias.

O reator 4 também obteve o maior teor de metano encontrado no biogás cerca de 13,93% e o reator 2 obteve o menor teor de metano no biogás cerca de 11,72%.

Em termos de SV a maior conversão/ redução da matéria orgânica se deu no reator 3 (85,82%) alimentado com 7,13% de SV e TRH de 15 dias.

O COT foi totalmente consumido em todos os reatores, demonstrando que os resíduos possuem potencial para produção de biogás, mas mesmo assim não foi possível otimizar a produção de biogás.

A relação AV/AT manteve-se ideal ao longo do experimento. Em relação aos macros e micronutrientes os tratamentos diferiam no percentual de redução, no entanto todos os reatores obtiveram reduções de nitrogênio e enxofre. As maiores reduções de macro e micronutrientes foram nos reatores 2 e 4 que receberam os tratamentos de 7,13 % e 2,87% de SV e TRH de 5 e 15 dias respectivamente.

REFERÊNCIAS

AIRES, Airon M. **Biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) -Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal - SP, 2009. Disponível em: <http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96593/aires_am_me_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 18/out/2015.

_____. **Desenvolvimento de um sistema para o pré-processamento da cama de frangos de corte destinada a biodigestão anaeróbia e compostagem “in-vessel”**. 2012 143 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Jaboticabal - SP, 2012. Disponível em:<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/101328/aires_am_dr_jabo.pdf?sequence=1> Acesso em: 18/out/2015.

AIRES; Airon M. et al. **Biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida sobre a produção de biogás e a qualidade do biofertilizante**. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA. Disponível em: <<http://www.ambiente-augm.ufscar.br/uploads/A2-120.pdf>> Acesso em: 01/mai/2016.

ANGELO, João C.de et al.**Material de cama: qualidade, quantidade e efeito sobre o desempenho de frango de corte**. Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa, v. 26, n. 1, p. 121- 130, 1997.Disponível em < <http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/31121/WOSA1997WX41000018.pdf?sequence=1>> Acesso em: 01/jun/2016.

ALVAREZ, René; LINDÉN, Gunnar. **Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste**. Renewable Energy, 33: 726-734, 2008. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148107001309>> Acesso em: 01/out/2016.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIROMENT FEDERATION – WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 ed., Washington, DC: APHA, 1998.

APPELS Lise et al. **Peracetic acid oxidation as an alternative pre-treatment for the anaerobic digestion of waste activated sludge.** Bioresource Technology, 102:4124– 30, 2011. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085241002033X>>. Acesso em: 18/out2015.

AQUINO, Sérgio. F. O. **Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios.** Engenharia Sanitária e Ambiental, 12, 192- 201, 2007. Disponível em <<http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v12n02/10006.pdf>>. Acesso em: 18/out/2015.

AUGUSTO, Karolina. V. Z. **Caracterização quantitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia.** 2007. 132 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008. Disponível em <<http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/zoo/m/3036.pdf>>. Acesso em: 18/out/2015.

AVILA, Valdir S.; MAZZUCO, Helenice.; FIGUEREIDO, Élsio P. de. **Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante.** Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 1992. 32p. (Embrapa Suínos e Aves. Circular Técnica, 16). Disponível em <<http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/67877/1/CUsersPiazzonDocumentsProntosCNPSA-DOCUMENTOS-16-CAMA-DE-AVIARIO-MATERIAIS-REUTILIZACAO-USO-COMO-ALIMENTO-E-FERTILIZANTE-FL-12.pdf>> Acesso em: 18/out/2015.

BANKS, Charles.J. et al. **Trace element requirements for stable food waste digestion at elevated ammonia concentrations.** Bioresource Technology 104,127– 35, 2012. Disponível em <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852411015562>>> Acesso em: 18/dez/2015.

BRAILE, P.M.; CAVALCANTI, J.E.W.A Cavalcante. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais.** São Paulo: CETESB, 1993.

BELLAVER, Claudio; PALHARES, Júlio C. **Uma visão sustentável sobre a utilização da cama de aviário.** Avicultura Industrial, n.06, p.14-18, 2003.

BELUSSO, Diane; HESPANHOL, Antônio N. **A evolução da avicultura industrial brasileira e seus efeitos territoriais.** Revista Percurso, v. 2, n. 1, p. 25-51, 2010. Disponível em <<http://www2.fct.unesp.br/nivaldo/Publica%E7%F5es-nivaldo/2010/AVICULTURA-2010.pdf>> Acesso em: 18/mar/2015.

BILLEN, Pieter et al. **Electricity from poultry manure: a cleaner alternative to direct land application.** Journal of Cleaner Production. V. 96, 467-475, 2015. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652614003631>>. Acesso em: 18/fev/2015.

BILLEN, Pieter. VAN CANEGHEM, Jo. VANDECASTEELE, Carlo. **Predicting melt formation and agglomeration in fluidized bed combustors by equilibrium calculations.** Waste Biomass Valor. V. 5. 879-892. 2014. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007/s12649-013-9285-0>>. Acesso em: 18/fev/2015.

BORZANI, Walter et al. **Biotecnologia industrial.** Processos Fermentativos e Enzimáticos São Paulo, Edgard Blücher Ltda, vol.1, 2001.

BUJOCZEK, Giuegorz et al. **High solid anaerobic digestion of chicken manure.** Journal of Agricultural. Engineering, Reserarch. 76, 51-60, 2000. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0021863400905298#>>. Acesso em: 01/fev/2016.

BUNTNER, Dagmara., SPANJERS, Henri. LIER, Jules B. V. **The influence of hydrolysis induced biopolymers from recycled aerobic sludge on specific methanogenic activity and sludge filterability in an anaerobic membrane bioreactor.** Water research, 51, 284 e 292, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135413008919>>. Acesso em: 01/fev/2016.

BRUMMELER, E.T. **Dry Anaerobic Digestion of the Organic Fraction of Municipal Solid Waste.** Tese de Doutorado. Wageningen Agricultura University. 1993. 193 p.

CAMARERO, L.; DIAZ, J. M.; ROMERO, F. **Final treatments for anaerobically digested piggery slurry effluents.** Biomass and Bioenergy, Oxford, v. 11, n. 6, p. 483-489, jul. 1996. Disponível em : < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953496000499>>. Acesso em: 01/fev/2016.

CHANAKYA, H. N; RAMACHANDRA, T. V et al. **Micro-treatment options for components of organic fraction of MSW in residential áreas.** Environ Monit Assess. N. 135, p. 129–139. 2007.

CHEN Y; CHENG J.J, CREAMER K.S. **Inhibition of anaerobic digestion process:a review.** Bioresource Technology, 99(10):4044–64, 2008. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17399981>>. Acesso em: 01/fev/2016.

CHERNICHARO, Carlos A. L. **Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico em águas residuárias**. Belo Horizonte: DESA; UFMG, 1997. 246 p.

COSTA, Laura V. C. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos de suínos: produção de biogás e qualidade do biofertilizante**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2009. Disponível em: <<http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/zoo/m/3687.pdf>>. Acesso em: 01/fev/2016.

DALMÁS, S. R. S. P.; STADUTO, J. A. R.; WILLERS, E. M. A **Identificação de Cluster na Atividade de Abate de Frangos na Mesorregião Oeste do Paraná**. Grupo de Pesquisa 2 – Administração Rural e Gestão do Agronegócio. In: XLV Congresso da SOBER. Londrina, PR, 22 a 25 jul. 2007.

DÍAZ, Luis F. et al. **Solid waste management for economically developing countries**. 2º ed. Concorde, California: Calrecovery Inc, 2003. 120 p.

DIN 38414-, **German standard methods for the examination of water, waste water and sludge; sludge and sediments (group S) — Determination of adsorbed organically bound halogens (AOX) (S 18)**.1885.

DILALLO, R., ALBERTON O.E. **Volatile acids by direct titration**. *Journal of water pollution control federation*, v. 33, n.4, p. 356-356. 1961

DORS, Gisanara et al. **Hidrólise enzimática e biodigestão de efluentes da indústria de produtos avícolas**. 2006. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Federal de Santa Catarina 2006. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/88705/232030.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 08/ set /2015.

EDWARDS, D. R. e DANIEL, T. C. **Environmental impacts of on-farm poultry waste disposal**. *review*. *Bioresource Technology*, v.41, p.9-33, 1992. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/096085249290094E>>. Acesso em: 08/ set /2015.

FACCHIN, Veronica et al. **Effect of trace element supplementation on the mesophilic anaerobic digestion of foodwaste in batch trials: the influence of inoculum origin**. *Biochemical Engineering Journal*. 70, 71-77, 2013. Disponível em: <<http://www.aidic.it/cet/13/32/077.pdf> >. Acesso em: 08/ set /2015.

FERNÁNDEZ, Anna; SÁNCHEZ, Antoni; FONT, Xavier. **Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin.** *Biochemical Engineering Journal*, Amsterdam, v. 26, p. 22-28, 2005. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1369703X05001324>>. Acesso em: 08/ set /2015.

FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. Disponível em: <<http://faostat3.fao.org/browse/Q/QA/E>>. Acesso em: 08/ set /2015.

FUKAYAMA, Ellen. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante.** 2008. 96 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) -Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008. Disponível em: < <http://www.fcav.unesp.br/download/pgtrabs/zoo/d/2833.pdf>>. Acesso em: 08/ set /2015.

FORESTI, E. **Fundamentos do Processo de digestão anaeróbia.** In: III Taller y Seminario Latinoamericano: Tratamiento Anaerobio de Aguas Residuales. Montevideo, Uruguay. Anais... p.97-110, 1994.

FLOGER, H. S. **Elementos de Engenharia das Reações Químicas.** 4 ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

GARBA, Brian. **Effect of temperature and retention period on biogás production from lignocellulosic material.** *Renewable Energy*, Oxford, v. 9, n. 1-4, p. 938-941, sep/dec. 1996. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0960148196884345>> Acesso em: 08/ set /2015.

GÓMEZ, Xi. et al. **Anaerobic co-digestion of primary sludge and the fruit and vegetable fraction of the municipal solid wastes: conditions for mixing and evaluation of the organic loading rate.** *Renewable Energy*, Schenectady, v. 31, n. 2, p. 2017- 2024, 2006. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148105002892> > Acesso em: 08/ set /2015.

GOMIDE, Reynaldo. **Operações Unitárias: operações com sistemas sólidos granulares.** v. 1. São Paulo: Edição do autor, 1924.

HAMMAD, M.; BADARNEH, D.; TAHBOUB, K. **Evaluating variable organic waste to produce methane.** *Energy Conversion and Management*, Oxford, v. 40, n. 13, p. 1463- 1475, sep. 1999. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890499000242> > Acesso em: 08/ set /2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Indicadores IBGE – Estatística de produção Pecuária**, Abril-Junho 2014. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?c=1093&z=t&o=1&i=P>> Acesso em: 12 nov. 2015.

KELLEHER Brian P. et al. **Advances in poultry litter disposal technology – a review**. *Biosource Technology*, 83, 27-36, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085240100133X>> Acesso em: 08/ set /2015.

KIM J. et al. **Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge**, *J. Biosci. Bioeng.* 95 (2003) 271–275. Disponível em : <<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16233404>> Acesso em: 05/jun/2016.

KIM, M. et al. **Hydrolysis and acidogenesis of particulate organic material in mesophilic and termophilic anaerobic digestion**. *Environmental Technology*, London, v. 24, p. 1183-1190, 2003.

KRISHNA, D. KALAMDHAD, A. **Pre-treatment and anaerobic digestion of food waste for high rate methane production - A review**, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 1821-1830, 2014.

KOTHARI, Richa et al. **Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: an overview**, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 174-195, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114004638>>. Acesso em: 08/ set /2015.

KONDUSAMY, Dhamodharan; KALAMDHAD, Ajay S. **Pre-treatment and anaerobic digestion of food waste for high rate methane production – A review**, *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 2, 1821-1830, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343714001663>>. Acesso em: 08/ set /2015.

LASTELLA, Gian. et al. **Anaerobic digestion of semi-solid organic waste: biogas production and its purification**. *Energy Conversion and Management*. Oxford, v. 43, n. 1, p. 63-75, jan. 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890401000115>>. Acesso em: 08/ set /2015.

Lay, J. J.; Li, Y. Y.; Noike, T.; Endo, J.; Ishimoto, S. **Analysis of environmental factors affecting methane production from high-solid organic waste**. Water Science Technology, v.36, p.493-500, 1998.

LETTINGA, G., HULSHOF POL, L. W., ZEEMAN, G. **Biological Wastewater Treatment. Part I: Anaerobic wastewater treatment**. Lecture Notes. Wageningen Agricultural University, ed. January, 1996.

LI Yebo; PARK Stephen Y.; ZHU Jiying. **Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste**. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 15:821–6, 2011. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/223100633_Solid-state_anaerobic_digestion_for_methane_production_from_organic_waste> . Acesso em: 08/ set /2015.

LIU, Sean X. **Food and agricultural wastewater utilization and treatment**, 1 ed, Blackwell Publishing Professional, 2007. Disponível em <http://samples.sainsburysebooks.co.uk/9780470276426_sample_380575.pdf > . Acesso em: 08/set/2015.

LOURENÇO, J. C.; LIMA, C. E. B. **Evolução do agronegócio brasileiro, desafios e perspectivas**. In: Observatorio de la Economía Latinoamericana, Número 118, 2009. Disponível em: <<http://www.eumed.net/cursecon/ecolat/br/09/clbl.htm>>. Acesso 12 nov. 2015.

LISSENS, G. et al. **Solid waste digesters: process performance and practice for MSW digestion**. Water Sci. Technol. 44 (8) (2001) 91–102.

LOPES, Wilton S. **Biodigestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos inoculados com rumem bovino**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal da Paraíba. 2000. 72p. Disponível em<<http://www.escavador.com/sobre/2822362/wilton-silva-lobes>>. Acesso em: 08/set/2015.

LUCAS JUNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 137 f. Tese (Livre-Docência)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos / Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Secretaria de Defesa Agropecuária. Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial; Murilo Carlos

Muniz Veras (Org.) – Brasília: MAPA/ SDA/CGAL, 2014. 220 p. (AGRIS F04, CDU 631.8). Disponível em <<http://www.agricultura.gov.br/>>. Acessado em 15 de out. 2015.

MATA-ALVAREZ, J. **Biomethanization of the organic fraction of municipal solid wastes**. IWA Publishing. 2003. Cornwall.

MEDEIROS, M. B ; LOPES, J. da S. **Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola**. Revista Bahia Agrícola, v. 7, n. 3A, 2006. Disponível em: http://www4.seagri.ba.gov.br/pdf/comunicacao05_v7n3.pdf>. Acesso em 30 de nov. 2016.

MIRANDA, A. P. **Suíños em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade e efeitos na biodigestão anaeróbia**. 2009. 123 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

MORENO, M. T. V. **Manual de Biogás**. Editado por Proyecto CHI/00/G32 “Chile: Remoción de Barreras para la Electrificación Rural con Energías Renovables”. Santiago de Chile, 2011. Disponível em: <[http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2BE13235AE64D19A05257CFC0076B54E/\\$FILE/as400s.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2BE13235AE64D19A05257CFC0076B54E/$FILE/as400s.pdf)>. Acesso em 9 set. 2015.

OILVEIRA, Rafael D. E. **Geração de Energia Elétrica A Partir do Biogás Produzido Pela Fermentação Anaeróbia De Dejetos em Abatedouro E As Possibilidades No Mercado De Carbono**. 2009. 98f. Trabalho de Conclusão De Curso – Engenharia Elétrica, Escola de Engenharia de São Carlos São Paulo – SP. Disponível em <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180500/tce-26042010-091847/?&lang=br>>. Acesso em: 05/jun/2016.

OLIVER, A. de P. M. et al. **Manual de treinamento em biodigestão**. Salvador: Winrock, 2008. 23 p.

ONG, H.K. et al. **An operational strategy for improved biomethanation of cattle-manure slurry in an unmixed, single-stage digester**. Bioresour. Technol. 73 (2000) 87–89.

ORTOLANI, Enrico L.; BRITO, Lott. A. B. **Enfermidades Causadas pelo Uso Inadequado de “Cama-de-Frango” na Alimentação de Ruminantes**. Revista do Conselho Federal de Medicina Veterinária. – Suplemento Técnico, n.22, 2001.

ORRICO, A. C. A. **Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão anaeróbia na produção de caprinos.** 2005. 129 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

PALACIO-BARCO, Edwin et al. **On-line analysis of volatile fatty acids in anaerobic treatment processes.** Anal Chimica Acta 668:74–9, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003267009016997>>. Acessado em 15 de out. 2015.

PALMOWSKI L.; SIMONS, L.; BROOKS, R. **Ultrasonic treatment to improve anaerobic digestibility of dairy waste streams, Water Sci. Technol.** 53 (2006) 281–288. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16784213>> Acesso em: 05/jun/2016.

PRATI, L.. **Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores. 2010. Monografia (Bacharelado)** – Setor de Tecnologia, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, 2010. Disponível em: < <http://www.eletrica.ufpr.br/ufpr2/tccs/148.pdf> >. Acesso em: 04 nov. 2015.

PLAIXATS, Junior; BARCELO, Joan; GARCIA-MORENO, Julian. **Characterization of the effluent residue from anaerobic digestion of pig excreta for its utilization as fertilizer.** Agrochimica, v. 32, n. 2-3, p. 236-239, 1988.

PUYUELO Belén et al. **Determining C/N ratios for typical organic wastes using biodegradable fractions.** Chemosphere; 85:653–9, 2011. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0045653511008332>>. Acessado em 15 de out. 2015.

RIVERA-SALVADOR, Victor et al. **Application of Anaerobic Digestion Model No. 1 to describe the syntrophic acetate oxidation of poultry litter in thermophilic anaerobic digestion.** Bioresource Technology, 167, 495–502, 2014. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852414008529>>.Acesso em 15 de out. 2015.

RIPLEY, L.E.; BOYLE, W.C.; CONVERSE, J.C. **Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes.** Journal of water pollution control federation, v. 58, n.5, p. 406-411. 1986.

ROCCON, Josiane. **Desempenho de frangos de corte e produção de energia em biodigestores, utilizando-se três tipos de cama.** 2014. 96 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Programa de Pós-Graduação Faculdade de Ciências

Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de Jaboticabal 2014. Disponível em: < <http://repositorio.unesp.br/handle/11449/115797>> Acesso em: 08/ set /2015.

ROGRIGUES, Maria I.; LEMMA, Antônio F. **Planejamento de Experimentos e Otimização de Processos**. 3 ed. Campinas/SP: Casa do Espírito Amigo Fraternidade Fé e Amor, 2014.

ROYA, Bruno et al. **BIOGÁS - UMA ENERGIA LIMPA** Revista Eletrônica Novo Enfoque, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142 – 149. Disponível em: < http://www.castelobranco.br/sistema/novo enfoque/files/13/artigos/12_BunoRoya_Bio gas_Prof_Djalma_VF.pdf > Acesso em: 08/ set /2015.

RUIZ, Raul L. et al. **Microbiologia do rúmem e do biodigestor**. In: RUIZ, R. L. Microbiologia zootécnica. São Paulo: Roca, p. 124-167, 1992.

SAGULA, Alex Luiz. **Biodigestão anaeróbia de cama de frango em codigestão com caldo de cana-de-açúcar**. 2012. 69 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho, 2012. Disponível em: < <http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0744.pdf>>. Acesso em: 08/ set /2015.

SALMINEN, Eduard; RINTALA, Jukka. **Anaerobic digestion of organic solid poultry slaughterhouse waste a review**. Bioresource Technology, Oxford, v.83, n.1, p.13- Disponível em: < [https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/anaerobic-digestion-of-organic-solid-poultry-slaughterhouse-waste--a-review\(52486a23-9020-44ab-bdbf-46a2feb97d9\).html](https://tutcris.tut.fi/portal/en/publications/anaerobic-digestion-of-organic-solid-poultry-slaughterhouse-waste--a-review(52486a23-9020-44ab-bdbf-46a2feb97d9).html) >. Acesso em: 08/ set /2015.

SANTOS, Carlos. C. **Avaliação físico-química de compostos de cama de frango e sua utilização na agricultura**. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2000. 93 f

SANTOS, Tadeu. M. B. **Caracterização química, microbiológica e potencial de produção de biogás a partir de três tipos de cama, considerando dois ciclos de criação de frangos de corte**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 1997. 95 f.

SANTOS, Tadeu. M. B. ;LUCAS Junior, J. **Utilização de resíduos da avicultura de corte para a produção de energia**. In: ZOOTEC'2003; CONGRESSO INTERNACIONAL DE ZOOTECNIA, 5. CONGRESSO NACIONAL DE ZOOTECNIA, 13, 2003, Uberaba-MG, Brasil, 131-141.

SANTOS, A. C.; AKIBA, F. **Biofertilizantes líquidos: uso correto na agricultura alternativa**. Seropédica: Imprensa Universitária/UFRRJ. 1996. 35p.

SCHATTAUER Alexander et al. **Abundance of trace elements in demonstration biogas plants**. *Biosyst. Eng.* 108: 57–65, 2011. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1537511010002217>>. Acesso em: 08/ set /2015.

SEIXAS, Jorge. "**Construção e Funcionamento de Biodigestores**", por Jorge Seixas, Sérgio Folle e Delomar Machetti. Brasília, EMBRAPA - DID, 1980. 60p. (EMBRAPA - CPAC. Circular técnica, 4).

SHARMA Deepak, ESPINOSA-SOLARES Teodoro, HUBER David H, **Thermophilic anaerobic co-digestion of poultry litter and thin stillage**, *Bioresource Technology*, 136, 251– 256, 2013. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852413003581>>. Acesso em: 08/ set /2015.

SILVA, D. J et al. **Análise de alimentos**, 2 ed, Viçosa, UFV, 1998.

SINGH R. P. et al. **An over view for exploring the possibilities of energy generation from municipal solid waste (MSW) in Indian scenario**. Disponível em:< *RenewSustainEnergyRev*2011;15(9):4797- 8808.<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111003169>>. Acesso em: 08/ set /2015.

SINGH, Sudha; SINGH, S. K. **Effect of cupric nitrate on acceleration of biogas production**. *Energy Conversion and Management*, Oxford, v. 37, n. 4, p. 417-419. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0196890495001913>>. Acesso em: 08/ set /2015.

SOARES, H. M.; HIRATA, Y. S. Classroom practice. In: **Course of Biological Treatment of Waste**, 4. 30 jun. - 11 jul., Florianópolis. Proceedings... [S.l.]: CBAB MCT/CNPQ ALFA FURB CPGENQ/UFSC, 1999. 25 p

SPEECE, R. E. **Anaerobic Biotechnology for industrial wastewaters** Nashville, Tennessee: Vanderbilt University. 1983. 393 p.

SUZUKI, Beatryz Prenzier. **Geração de biogás utilizando cama, aviário e manipueira**, 2012. 60 f. Dissertação (Mestrado em Energia na agricultura) - Programa de Pós-Graduação em Energia na agricultura Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná. 2012. Disponível em:< http://tede.unioeste.br/tede/tde_arquivos/16/TDE-2013-01-28T163130Z901/Publico/Ana%20Beatriz.pdf> Acesso em: 08/ set /2015.

TORRES-CASTILHO R.; LA BRESLUENGO P.; MATA ALVAREZ J. **Temperature effect on anaerobic digestion of bedding straw in a one-phase system at different inoculum concentration.** Agriculture Ecosystems and Environment, V.54. n.1. p.55-66, 1995.

UBABEF – União Brasileira de Avicultura. **Relatório Anual 2014.** Disponível em: <<http://www.abef.com.br/ubabef/exibenoticiaubabef.php?notcodigo=3293>>. Acesso em: 08/10/2015.

UNFCCC- United Nations Framework Convention on Climate Change Disponível em:< <http://unfccc.int/2860.php> > Acesso em: 08/ set /2015.

VIEIRA, Maria DE F. A. **Caracterização e análise da qualidade sanitária de camas de frango de diferentes materiais reutilizados sequencialmente.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Viçosa, MG. 81 p. 2011. Disponível em:< <http://www.ufv.br/dea/ambiagro/gallery/publica%C3%A7%C3%B5es/tesefatimams.pdf>> Acesso em: 08/ set /2015.

VIEIRA, Norberto M.; DIAS, Roberto S. **Uma abordagem sistêmica da avicultura de corte na economia brasileira.** Artigo Científico. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. Disponível em:< <http://www.sober.org.br/palestra/2/394.pdf>> Acesso em: 08/ set /2015.

VIEIRA, Marconi. **Biofertilizante contém nutrientes que dejetos possuíam antes de serem processados.** Tecnologia e tratamento [online]. 2011. Disponível em: <<http://www.tecnologiaetreinamento.com.br/agroindustrias/energiaalternativaenergia/construcao-operacao-biodigestores-biofertilizantes/>>. Acesso em 24 out. 2015.

VITURTIA- MTZ, A. et al. **Two-phasecontinuous anaerobic digestion of fruit and vegetable wastes.** Resour. Conserv. Recy. 13 (1995) 257–267.

XAVIER, C. A. N. **Biodigestão anaeróbia de dejetos em sistema de produção de leite: obtenção de parâmetros e dimensionamento.** 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2005.

XAVIER, A. N. C. **Caldo de cana-de-açúcar na biodigestão anaeróbia com dejetos de vacas em lactação sob diferentes dietas.** 2009.102 f. Tese (Doutorado em Zootecnia)- Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

YADVIKA, Santosh et al. **Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques – a review**. Bioresource Technology, Essex, v. 95, n. 1, p. 1- 10, oct. 2004. Disponível em:< <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15207286>> Acesso em: 08/ set /2015.

YANG Shang -Tian.; OKOS MR. **Kinetic study and mathematical modeling of methano- genesis of acetate using pure cultures of methanogens**. Biotechnol Bioeng 1987; 30:661– 667. Disponível em:< <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18581453>> Acesso em: 08/set/2015.

YENIGUN, Orhan; DEMIREL, Burak. **Ammonia inhibition in anaerobic digestion: a review**. Process Biochemistry. 48, 901- 911, 2013. Disponível em:< <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511313001657>> Acesso em: 08/set/2015.

ZAHER, Usama et al. **Producing Energy and Fertilizer From Organic Municipal Solid Waste. Department of Biological Systems Engineering**. Washington State University. Ecology Publication No. 07.07.024. 2007. Disponível em: < <https://fortress.wa.gov/ecy/publications/publications/0707024.pdf>>. Acesso em 30 ago. 2015.

ZHANG, Cunsheng et al. **Reviewing the anaerobic digestion of food waste for biogas production**, 38, 383- 392, 2014. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114003633>>. Acesso em 30 ago. 2015.

ZWIETEN, Lukas V. et al. **Pyrolysing poultry litter reduces N₂O and CO₂ fluxes, Science of the Total Environment**, 465, 279–287, 2013. Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969713002374>>. Acesso em 30 ago. 2015.