

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**KEMELI PAIVA CARDOSO
VIVIANNE THAISA SANTOS DE OLIVEIRA**

**DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS OPERACIONAIS DE
BIODIGESTORES ANAERÓBICOS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS
SÓLIDOS URBANOS**

**VOLTA REDONDA - RJ
2017**

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS OPERACIONAIS DE
BIODIGESTORES ANAERÓBICOS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS
SÓLIDOS URBANOS

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental do UniFOA, como requisito à obtenção do título de bacharel em Engenharia Ambiental

Aluno:

Kemeli Paiva Cardoso

Vivianne Thaisa Santos de Oliveira

Orientador:

Prof. Dr. Roberto Guião de Souza Lima

Coorientador:

Prof. Me. Amarildo Ferraz

VOLTA REDONDA
2017



Fundação Oswaldo Aranha



**Anexo 10
FOLHA DE APROVAÇÃO**

Curso: **Engenharia Ambiental**

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado:

**“DETERMINAÇÃO DE PARÂMETROS OPERACIONAIS DE BIODIGESTORES ANAERÓBICOS DE
RESÍDUOS ORGÂNICOS SÓLIDOS URBANOS”**

Elaborado por:

Acadêmica (s)

Matrícula (s)

Kemeli Paiva Cardoso

201311567

Vivianne Thaísa dos Santos Oliveira

201310523

Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental.

Aprovada em 10 de NOVEMBRO de 2017

Banca Examinadora:

 Professor Orientador: Roberto Guião de Souza Lima Junior, Doutor / UniFOA

 Professor Avaliador: Francisco Jacome Gurgel Junior, Doutor / UniFOA

 Professor Avaliador: Marcus Vinicius Faria de Araujo, Mestre / UniFOA

Dedicamos este trabalho a nossa querida família, e às pessoas que grandiosamente contribuíram com minha formação. Em especial aos professores: Joyce Andrade, Francisco Gurgel, Ana Carolina, Bruno Gambarato e aos técnicos de laboratório Dirceu, Charles, Geneci.

AGRADECIMENTOS

Gostaríamos de agradecer a Deus pela sua misericórdia, em nos dar a determinação necessária para superar mais essa etapa em nossas vidas. Agradecemos também a dedicação da nossa família que nos deu pleno apoio para realização deste trabalho. Ao nosso mestre, orientador Prof. Dr. Roberto Guião de Souza Lima e aos nossos professores e técnicos de laboratório que nos auxiliaram em todos os momentos em que precisamos com a paciência e sabedoria próprias. Agradeço a Kethely, a Marli, Raony, Daiani, Rozenir, Suely, Vitória, Damião e aos amigos que sempre nos deram total incentivo até aqui.

RESUMO

O crescimento da população tem refletido diretamente no aumento da geração de resíduos sólidos urbanos. No entanto, tal crescimento não é acompanhado da mesma forma pelas ações governamentais no que tange a gestão de resíduos, fato agravado pela composição dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) brasileiro, que atinge mais de 50% de resíduos orgânicos. Contudo, geradores privados podem adotar estratégias de tratamento de resíduos de forma independente do poder público, como a biodigestão anaeróbica, que permite aproveitamento energético e mássico dos resíduos. Todavia, são escassos os trabalhos que forneçam parâmetros operacionais para biodigestores de resíduos orgânicos sólidos, especialmente em pequena escala e baixo custo, sendo este o objetivo do presente trabalho. De tal modo, foram investigados parâmetros operacionais como: pH, temperatura, relação Carbono/Nitrogênio (C/N), Carga orgânica volumétrica (COV) e produção de biogás, para que fosse possível tratar e obter produção satisfatória de biogás utilizando como substrato os resíduos sólidos orgânicos tipicamente urbanos. A maior produção de biogás foi de 0,69 L/g SV/dia, e aconteceu entre a primavera e o verão, com temperatura média de 26.4°C e COV de 0,5 g SV/L/dia (grama de sólidos voláteis/litro/dia). Nos meses de outono e inverno sugere-se uma COV máxima de 0,3 g SV/L/dia, para que não haja a desestabilização do biodigestor, visto que COV's próximas a 1g SV/L/dia são inadequadas para o tipo de biodigestor. O teor de Sólidos Totais (ST) do afluente, 7,5%, mostrou-se adequado somente em conjunto com os demais parâmetros operacionais apresentados na 4ª rodada, sendo provavelmente inadequado para operação em épocas mais frias ou maiores COV's.

Palavras chave: PNRS; biodigestor anaeróbico; resíduo orgânico RSU; biogás; análise de parâmetros.

ABSTRACT

The population growth has directly reflected in the increase of solid urban waste generation. However, this growth is not accompanied in the same way by governmental actions regarding waste management, a fact aggravated by the composition of Brazilian Solid Urban Waste (RSU), which reaches more than 50% of organic waste. However, private generators can adopt waste treatment strategies independently of public power, such as anaerobic biodigestion, which allows the energetic and mass use of waste. However, there are few studies that provide operational parameters for biodigesters of solid organic waste, especially in small scale and low cost, this being the objective of the present work. Thus, operational parameters such as: pH, temperature, carbon / nitrogen ratio (C / N), volumetric organic load (VOC) and biogas production were investigated, so that it could treat and obtain satisfactory biogas production using as substrate the typical urban waste. The highest biogas production was 0.69 L / g SV/ day, and occurred between spring and summer, with an average temperature of 26.4 ° C and VOC of 0.5 g SV / L / day (gram of volatile solids / liter / day). In the autumn and winter months a maximum VOC of 0.3 g SV / L / day is suggested, so that there is no destabilization of the biodigester, since VOCs close to 1g SV / L / day are unsuitable for the biodigester type. The Total Solids (ST) content of the tributary, 7.5%, was adequate only in conjunction with the other operational parameters presented in the 4th round, and is probably not suitable for operation in colder seasons or higher VOCs.

Key-words: PNRS; Anaerobic digester; Organic waste RSU; Biogas; Analysis of parameters.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
2	OBJETIVO	16
2.1	Objetivo Geral	16
2.2	Objetivo Específico	16
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Resíduos Sólidos Urbanos	17
3.1.1	Classificação dos resíduos	17
3.2	Classificação dos Resíduos Sólidos quanto a Degradabilidade	18
3.3	Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos	18
3.4	Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos	19
3.4.1	Hidrólise	19
3.4.2	Acidogênese	20
3.4.3	Acetogênese	20
3.4.4	Metanogênese	21
3.5	Temperatura e pH	23
3.6	Sólidos Totais e Sólidos Voláteis	25
3.7	Estudos de Referência	25
3.7.1	Biodigestão anaeróbica no tratamento de dejetos suínos	26
3.7.2	Produção de biogás de resíduos de incubatório de ovos	26
3.7.3	Biodigestão anaeróbica de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano	27
3.7.4	Biodigestão anaeróbica de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato	27
3.7.5	Estudo cinético do processo de digestão anaeróbica de resíduos sólidos vegetais	27
3.7.6	Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio	28
3.8	Outros Estudos Propostos para o Tratamento de RSO	29
3.9	Modelos de Biodigestores	30
3.9.1	Biodigestor home biogás	30
3.9.2	Biodigestor CSTR	31
3.9.3	Biodigestor lagoa coberta (BLC)	32
3.9.4	Biodigestor tipo UASB	33
3.9.5	Biodigestor indiano	34
3.9.6	Digestor chinês	35
4	METODOLOGIA	37
4.1	Biodigestor Utilizado	37
4.2	Experimentos Realizados	38
4.2.1	Procedimentos comuns das rodadas	38
4.2.2	Escolha do modelo de biodigestor	39
4.2.3	Estratégia de mistura	40
4.3	Alimentação	40
4.3.1	Descritivos das rodadas e seus procedimentos específicos	42
a)	Start up do inóculo	42
b)	1ª rodada	42
c)	2ª rodada	42
d)	3ª rodada	43
e)	4ª rodada	43
f)	5ª rodada	43

g)	6ª rodada	43
4.4	Parâmetros de Monitoramento.....	44
4.4.1	Volume de biogás gerado.....	44
4.4.2	Medição do pH do RSO e efluente.....	44
4.4.3	Análises de ST e SV	45
4.4.4	Monitoramento da temperatura	45
4.4.5	Relação C/N	45
4.5	Fluxograma do Processo do Biodigestor e as Análises Experimentais	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	49
5.1	Start Up do Inóculo	49
5.2	Resultado das Rodadas	49
5.2.1	Parâmetros operacionais.....	49
a)	1ª rodada	52
c)	2ª rodada	52
d)	3ª rodada	54
e)	4ª rodada	54
f)	5ª rodada	55
g)	6ª rodada	55
5.3	Considerações Adicionais	56
5.3.1	Influência das temperaturas	58
5.3.2	Ensaio da barrilha (Na ₂ CO ₃)	60
5.3.3	Sólidos totais e sólidos voláteis.....	61
5.3.4	Influência do cloro no processo de DA	62
6	CONCLUSÕES	66
7	REFERÊNCIA BIBLIOGRAFICA	67
8	APÊNDICE	73

LISTA DE SIGLAS

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais

C/N – Carbono/Nitrogênio

COV – Carga Orgânica Volumétrica

CSTR – Continuous Stirred Tank Reactor

DA – Digestão Anaeróbica

DQO – Demanda Química de Oxigênio

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

pH – Potencial Hidrogeniônico

PMRC – Partes de material rico em carbono

Nn – Teor de N do material rico em nitrogênio

Cn – Teor de carbono (C) do material rico em N

Cc – Teor de carbono do material rico em C

Nc – Teor de N do material rico em C

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RSO – Resíduos Sólidos Orgânicos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

ST – Sólidos Totais

STV – Sólidos Totais Voláteis

SV – Sólidos Voláteis

UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008	19
Tabela 2: Composição média dos materiais orgânicos	45
Tabela 3: Relação C/N	45
Tabela 4: Parâmetros operacionais	50
Tabela 5: Análises, médias e desvio padrão de ST e SV	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Biodegradabilidade de resíduos sólidos	18
Figura 2: Fluxograma das etapas da DA.....	22
Figura 3: Protótipo de biodigestor em escola	29
Figura 4: Biodigestor Home Biogás	30
Figura 5: Biodigestor CSTR	31
Figura 6: Biodigestor de Lona	32
Figura 7: Biodigestor Lona com lodo de resíduo	33
Figura 8: Reator UASB	34
Figura 9: Biodigestor Indiano	35
Figura 10: Biodigestor Chinês	36
Figura 11: Protótipo biodigestor anaeróbio	37
Figura 12: Protótipo biodigestor anaeróbio	38
Figura 13: Trituração dos RSO	39
Figura 14: Mistura manual do biodigestor	40
Figura 15: RSO cru	41
Figura 16: Alimentação do biodigestor com RSO+papel	41
Figura 17: Medição de ph do efluente	44
Figura 18: Fluxograma do processo	48
Figura 19: Análises de cloro	63

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Taxa de crescimento microbiana	24
Gráfico 2: Produção de biogás em l/g SV/dia	57
Gráfico 3: Variação de temperatura °C	58

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da população está relacionado à grande geração de resíduos sólidos urbanos. Com este aumento demanda uma maior produção de alimentos e industrialização de matérias primas diversas, aumentando também a geração de resíduos. Contudo, tal crescimento não é acompanhado pelas ações do governo no que tange a gestão de resíduos (FERREIRA *et al.*, 2014). Mesmo sendo um problema mundial, os impactos negativos da alta produção de RSU (Resíduos Sólidos Urbanos) são mais perceptíveis nos países em desenvolvimento como o Brasil. Os países mais ricos são os maiores produtores, no entanto, possuem melhor gestão dos resíduos, por diversos fatores que incluem recursos econômicos, educação ambiental da população e desenvolvimento tecnológico (JACOBI & BESEN, 2011).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos PNRS (2010) surgiu como uma importante incentivadora para o tratamento e aproveitamento energético dos RSU, sendo esperado um processo de evolução no setor com as imposições e obrigações delegadas aos empresários, cidadãos, Poder Público e demais atores envolvidos no ciclo de vida dos RSU.

Contudo, mesmo após a PNRS ter entrado em vigor em agosto de 2014, ainda são tímidas as ações nesse sentido por conta do poder público, o que dificulta a adoção de estratégias mais tecnológicas de gestão de RSU, principalmente as relacionadas ao tratamento e aproveitamento energético e mássico dos resíduos.

A geração anual de RSU no Brasil chegou a 79,9 milhões de toneladas, equivalendo a uma produção diária de aproximadamente 219 mil toneladas Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais ABRELPE (2015), sendo que 51% destes são RSO (resíduos sólidos orgânicos).

Comparando a quantidade de RSU gerada e a coletada em 2015, que foi de 72,5 milhões de toneladas, observa-se um alto índice de cobertura de coleta, 90,8%. Contudo, 60% dos municípios brasileiros ainda utilizam lixões ou aterros controlados como forma de disposição final dos RSU, e somente 40% utilizam aterros sanitários ABRELPE (2015). Contudo, mesmo os aterros sanitários são incipientes no que tange a correta gestão de resíduos, o que demanda a adoção de tecnologias mais

avançadas como a reciclagem, incineração, compostagem, digestão anaeróbica e outras que proporcionem aproveitamento mássico e energético dos resíduos.

Por outro lado, os geradores pontuais de resíduos têm sua própria autonomia para implantação de sistemas de gestão ecologicamente correta de seus resíduos, independente de ações em grande escala por parte do poder público. Muitos destes geradores já vêm se expressando positivamente nesse sentido à medida que gradativamente implantam suas coletas seletivas e direcionam seus resíduos para reciclagem.

Alem disso, é possível que estes geradores adotem estratégias de tratamento *in loco*, principalmente dos RSO, fração mais preocupante no que tange a geração de chorume e gás nos lixões e aterros sanitários.

Levando em consideração a digestão anaeróbica (DA) como estratégia de tratamento da fração orgânica dos resíduos, devido à possibilidade de geração de energia renovável e não monopolizada para tratamento e aproveitamento dos resíduos sólidos orgânicos tipicamente urbanos, o presente estudo teve como foco testar metodologias operacionais de biodigestores anaeróbicos direcionados para geradores de RSO em pequena escala, como residências, escolas, restaurantes e outros, disponibilizando parâmetros operacionais aplicáveis a digestores de baixa complexidade tendo assim um caráter extencionista.

2 OBJETIVO

2.1 Objetivo Geral

Através de biodigestores anaeróbicos, investigar parâmetros operacionais para tratamento e aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos tipicamente urbanos, em pequena escala, para tratamento *in loco* dos mesmos.

2.2 Objetivos Específicos

- I. Determinar a máxima carga orgânica admissível para operação à temperatura ambiente de biodigestores de câmara única e revolvimento manual mínimo;
- II. Quantificar e determinar a periodicidade de aporte de agentes estabilizadores de pH, visando obter o desempenho mais próximo do ideal no que tange a produção de biogás e degradação de matéria orgânica;
- III. Determinar a melhor composição de resíduos orgânicos para aporte no que tange a relação Carbono/Nitrogênio;
- IV. Avaliar a utilização do efluente gerado para uso agrícola;

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Resíduos Sólidos Urbanos

Os problemas relacionados a resíduos sólidos urbanos vêm recebendo maior atenção no Brasil devido à formulação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, lei federal nº 12.305/2010.

3.1.1 Classificação dos resíduos

A classificação dos RSU leva em consideração a sua origem, pois para tratamento ou até aproveitamento do mesmo é de extrema importância saber sua fonte e de qual forma foram utilizados. Para os efeitos da Lei Federal nº 12.305, os Resíduos Sólidos são abrangidos como:

material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semi-sólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível.

De acordo com a NBR (Norma Brasileira de Referência) nº 10.004/2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas, os resíduos sólidos são classificados como:

Resíduos Classe I – Perigosos, aqueles que apresentam periculosidade ou alguma das seguintes características: inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade e patogenicidade.

Resíduos Classe II – Não perigosos. Esta classificação ainda é subdividida em mais duas:

Classe IIA – Não inertes, aqueles que não se enquadram nas classificações de resíduos Classe I e nem Classe IIB. Podem ter propriedades tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

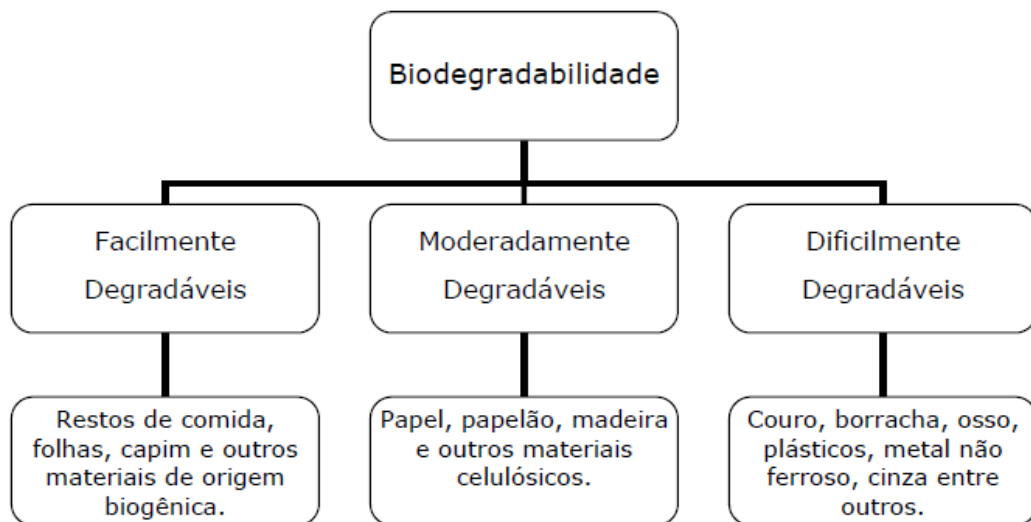
Classe IIB – Inertes, quaisquer resíduos que, quando amostrados de uma forma representativa, segundo a ABNT NBR 10.007/2004, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou desionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10.006/2004, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água, excetuando-se aspecto, cor, turbidez, dureza e sabor.

3.2 Classificação dos Resíduos Sólidos quanto a Degradabilidade

Segundo LIMA (2002), a maioria dos resíduos sólidos podem ser reutilizados, ação esta que promove benefício econômico dos recursos naturais, e ao mesmo tempo impede que seja causado algum dano ao meio ambiente. Através de boas práticas ambientais, é possível reduzir a ocorrência do descarte inadequado e a falta de reaproveitamento do resíduo, que acaba sendo destinado como rejeito.

Os resíduos sólidos podem ser separados por nível de biodegradabilidade, conforme apresentado na figura 1.

Figura 1: Biodegradabilidade de resíduos sólidos



Fonte: LIMA ,2002.

3.3 Composição dos Resíduos Sólidos Urbanos

Podem-se observar variações nas características dos resíduos em geral, o que na maioria das vezes resulta da variação de fatores econômicos e sociais, culturais, educacionais, tecnológicos, geográficos e legais. Na tabela 1, relativa a composições gravimétricas dos RSU, observa-se que a maioria dos resíduos gerados no Brasil são orgânicos (IBGE, 2010).

Mesmo com grandes variações, pode ser observada de um modo geral, uma predominância de matéria orgânica putrescível.

Tabela 1: Estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil em 2008

Resíduos Participação	Quantidade (t/dia)
Matéria orgânica	94.335,10
Material reciclável	58.527,40
Outros	30.618,90
Plástico total	24.847,90
Papel, papelão e tetrapak	23.997,40
Plástico filme	16.399,60
Plástico rígido	8.448,30
Metais	5.293,50
Vidro	4.388,60
Aço	4.213,70
Alumínio	1.079,90
Total	272.150,30

Fonte: Elaborado a partir de IBGE, 2010.

3.4 Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Orgânicos

O resíduo sólido pode ser considerado um substrato complexo e sua degradação anaeróbica envolve um extenso caminho metabólico até a obtenção do produto final, o metano (MATA-ALVAREZ, 2003).

A biodigestão anaeróbia envolve quatro etapas bem distintas que são elas: hidrólise, acidogêneses, acetogênese e a metanogênese. Processos consecutivos, onde micróbios de forma geral quebram a matéria orgânica e reduzem o seu volume ou massa.

3.4.1 Hidrólise

Os materiais particulados como polímeros são hidrolisados nesta etapa, em materiais com peso molecular bem menor que ultrapassam as paredes celulares das

bactérias que fazem a fermentação. Então a hidrólise do material particulado é uma etapa fundamental para aumentar a biodisponibilidade. Segundo AQUINO E CHERNICHARO (2005), as células microbianas conseguem dessa forma acessar o substrato. Esses materiais orgânicos, agora particulados através da ação de exoenzimas expelidas por bactérias fermentativas, encontram-se agora dissolvidos e com peso molecular menor. Logo depois a degradação das proteínas em polipeptídios, os carboidratos são transformados em açúcares solúveis, e os lipídeos em ácidos graxos com a cadeia longa e glicerol. Em alguns casos, devido à complexidade do material orgânico, a velocidade da hidrólise acontece de maneira mais lenta, fazendo com que todo o processo de digestão seja limitante dessa primeira etapa.

3.4.2 Acidogênese

As bactérias fermentativas ou acidogênicas, degradam os produtos solúveis da hidrólise e transformam em ácido acético, ácido propiônico, ácido butírico, ácido valérico, ácido isovalérico, ácido caprílico, que são ácidos de cadeias curtas, e produtos como hidrogênio, alcoóis, cetonas, ácido lático e CO_2 (MATA-ALVAREZ, 2003).

3.4.3 Acetogênese

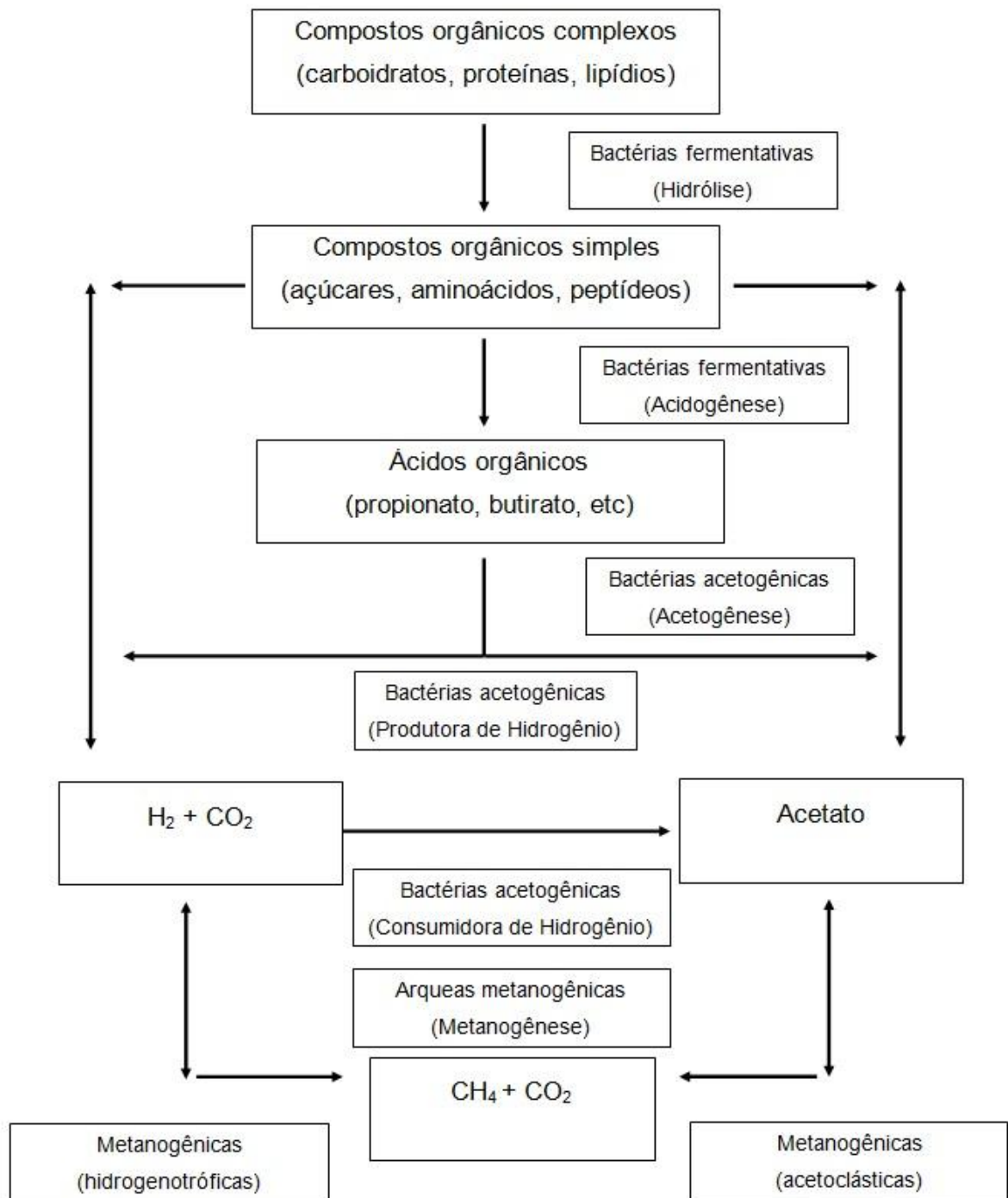
Os produtos desta etapa são transformados em acetato, hidrogênio e CO_2 através das bactérias acetogênicas. Os ácidos de cadeias curtas doam elétrons para produzir CO_2 durante a degradação, e também, são receptores de elétrons na transformação de H^+ em H_2 . Em outro momento, o CO_2 recebe elétrons e é convertido a CH_4 . Dessa forma, as áqueas metanogênicas hidrogenotróficas e bactérias acetogênicas são utilizadas como doadoras de elétrons e produtoras de acetato, onde crescem em interação, considerando que a acetogênese juntamente com a metanogênese seja hidrogenotrófica (MATA-ALVAREZ, 2003).

3.4.4 Metanogênese

Essa etapa é a mais importante para formação de CH_4 , que pode ser chamada de acetoclástica, onde utiliza-se o acetato para produção de CH_4 por arqueias metanogênicas acetoclásticas. Alguns dos produtos agem como reagentes e até mesmo inibidores, desde a 1ª etapa até à 4ª de todo o processo. O CH_4 é o único deles que não atua como reagente, pois é considerado um produto final da DA (MATA-ALVAREZ, 2003).

Diversos grupos de bactérias trabalham em concordância em cada uma dessas quatro etapas (figura 2), e no processo interno de um biodigestor anaeróbio estão totalmente submissos aos parâmetros ambientais de operação, como a temperatura, o pH ideal, concentração de hidrogênio, teor de ST, SV, C/N e outros subprodutos do processo de digestão.

Figura 2: Fluxograma das etapas da DA.



Fonte: MATA-ALVAREZ, 2003.

3.5 Temperatura e pH

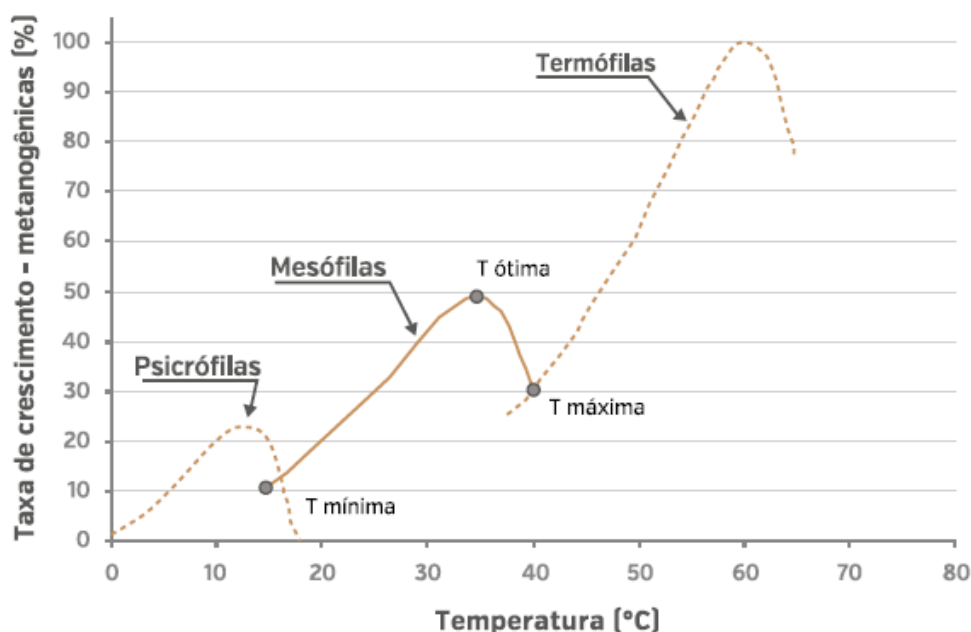
A temperatura média para que as bactérias possam modificar a matéria orgânica em biogás varia entre 25 e 55 °C, com uma média recomendada de 32 - 38 °C. Segundo apresentado em PROBIOGÁS (2015) a temperatura é um dos fatores físicos mais importantes no funcionamento do processo de digestão anaeróbica. Quando a temperatura fica abaixo de 15 °C a vida bacteriológica fica inativa, o que também acontece quando a temperatura supera 55 °C, provocando a mortalidade das bactérias. Logo, pode ser afirmado que a temperatura é um fator extremamente influente no desempenho do processo de um biodigestor anaeróbio.

Para que ocorra o crescimento de microrganismos, existem três faixas de temperatura, são elas:

- » Faixa psicrófila: menor que 20°C;
- » Faixa mesófila: entre 20 e 40°C;
- » Faixa termófila: maior que 40°C.

Segundo BISCHOFBERGER *et al.* (2005), as bactérias fermentativas, chegam ao seu maior percentual de crescimento nas condições termofílicas, entre 50 e 55°C, embora, nas condições mesofílicas também consigam ter ótima reprodução, entre 30 e 40°C.

As arqueias metanogênicas são consideradas as mais sensíveis à influência da temperatura. A seguir, são ilustradas conforme gráfico 1, as taxas de crescimento microbiano para cada faixa de temperaturas.

Gráfico 1: Taxa de Crescimento Microbiano

Fonte: PROBIOGÁS, 2015.

O processo mesofílico, que se mantém em torno de 35°C, estabelece boas condições para a união de microrganismos, e, ao contrário da faixa termofílica, não perdem a eficiência com pequenas alterações.

Quanto maior a temperatura, o processo se torna mais sensível a mudanças, mesmo sendo mais eficiente, necessita de maior controle. (BISCHOFBERGER *et al.*, 2005)

Segundo MACHADO (2013) a maioria das bactérias metanogênicas são mesofílicas e portanto, trabalham melhor em uma temperatura média de 39°C. Caso haja variações nessa temperatura podem até anular a produção de biogás

A acidez caminha pelo mesmo princípio da temperatura. Cada grupo de microrganismos possuem seu pH ótimo para atuação. Conforme WEILAND (2001) nas fases da hidrólise e da acidogênese o pH ideal fica em torno de 5,2 à 6,3. Já na acetogênese e metanogênese o pH ideal fica entre 6,5 à 8. (LEBUHN, 2008)

3.6 Sólidos Totais e Sólidos Voláteis

Segundo TRENTIN et al. (2010), para a caracterização de águas naturais, esgotos sanitários, efluentes industriais e águas de abastecimento, é necessário a determinação das frações de sólidos que atuam na água.

Como dito nos métodos 2540 B, C, D e E do Standard Methods (Standard Methods), o ensaio da série de sólidos, considera diferentes frações de sólidos em uma amostra de matriz aquosa, onde basicamente se definem por suas características como diferença de volatilidade e tamanho de partícula.

São esses os 9 tipos de sólidos:

- ✓ (ST) Sólidos Totais
- ✓ (SDT) Sólidos Dissolvidos Totais
- ✓ (SST) Sólidos Suspensos Totais
- ✓ (SFT) Sólidos Fixos Totais
- ✓ (SVT) Sólidos Voláteis Totais
- ✓ (SDF) Sólidos Dissolvidos Fixos
- ✓ (SDV) Sólidos Dissolvidos Voláteis
- ✓ (SSF) Sólidos Suspensos Fixos
- ✓ (SSV) Sólidos Suspensos Voláteis

Em análises de laboratório pode-se ter a classificação de um efluente qualquer por determinação dos ST e SV, onde permite identificar a composição presente no efluente, sendo possível diagnosticar sedimentos e avaliar altas frações de matéria orgânica que pode causar o aumento da atividade anaeróbia, ou excesso de partículas que não são aproveitadas no interior do biodigestor. Além disso, é possível verificar se os limites estão dentro dos padrões estabelecidos em norma e pela EMBRAPA (2014), para que o efluente gerado possa ser utilizado como fertilizante no caso de produto secundário.

3.7 Estudos de Referência

Dentro do universo de pesquisas direcionadas a temática deste estudo no Brasil, identificam-se majoritariamente trabalhos voltados para o tratamento de

resíduos agrícolas. Por outro lado, pesquisas relacionadas à DA de resíduos sólidos orgânicos foram principalmente conduzidas em países desenvolvidos.

3.7.1 Biodigestão anaeróbica no tratamento de dejetos suínos

Biodigestor com um sistema para tratar dejetos suínos, que podem agregar e favorecer manejos com leis ambientais, reduzindo os impactos que possam ser causados pelo. Um dos métodos mais eficaz para tratamento de dejetos suínos é o de digestão anaeróbica, e tem como principal característica a produção de biogás quando se é bem operado, gerando assim um produto final rico em nutrientes, o biofertilizante. Além disso, esse sistema foi criado com a vantagem de proporcionar bem estar animal e melhorar nos centros produtores de suínos a qualidade de vida dos trabalhadores. O objetivo de RIZZONI (2012) era criar uma técnica para um tratamento hábil, utilizando dejetos da suinocultura.

3.7.2 Produção de biogás de resíduos de incubatório de ovos

Segundo relatado por STEINMETZ (2014), podem ser caracterizados como riscos ambientais os resíduos incubatórios de ovos, gerados em produções de cortes de frangos, caso sejam descartados inadequadamente. Já existem vários métodos de tratamento para eliminar ou reaproveitar os resíduos desse gênero. A DA tem um objetivo bem atrativo em relação a esses tratamentos, pois pode agregar valor com a finalidade de tratar o resíduo e ainda assim produzir biogás, levando a mitigação dos impactos ambientais. Quase são inexistentes trabalhos relacionados a tratamento de resíduos de incubatório, o autor em referência empregou o conceito de apresentar resultados de ensaios biocinéticos realizados em laboratórios em concordância com as recomendações da norma VDI 4630 (2006), através de ensaios por batelada. Resultou em um valor médio de 778 ± 22 mL/N de biogás/g SV, e concentração de metano em $70 \pm 3\%$. Os resíduos denominados de incubatório de ovos comprovaram ser um substrato atrativo para a produção de energia renovável por meio de biogás.

3.7.3 Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano

AMORIM, *et al.* (2003) testaram a influência das estações do ano no tratamento de dejetos de caprinos por meio da biodigestão anaeróbia.

A operação do biodigestor seguia o modelo em batelada, com capacidade volumétrica de 60 L e foram mantidos a temperatura ambiente. Como parâmetros avaliativos foram monitorados: a produtividade de biogás, a redução de sólidos voláteis (SV) e os potenciais de produção. Obteve-se melhor produção no verão e na primavera.

3.7.4 Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato

SOUZA *et al.* (2005) utilizaram como substrato para alimentação de biodigestores anaeróbicos resíduos provenientes da suinocultura, acondicionados a três temperaturas e operados com e sem agitação. Três agrupamentos foram expostos às três diferentes temperaturas (25, 35 e 40°C), com 8 digestores cada.

A capacidade total era de 14 L, e cada digestor era abastecido com dejetos de suínos diluídos em água, com concentração inicial de sólidos totais de aproximadamente 6%.

Neste caso, foi demonstrado através dos resultados que a agitação não influenciou significativamente na produção de biogás, e que não houve grande diferença nas produções entre as temperaturas de 35 e 40 °C, sendo assim, recomendável a operação a 35°C, visto que seria menor o custo para aquecimento e a geração de biogás foi satisfatória.

3.7.5 Estudo cinético do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais

SILVA (2009) desenvolveu um estudo sobre a cinética do processo de digestão anaeróbica utilizando como substrato resíduos sólidos vegetais. O reator do projeto citado era composto por três câmaras individuais e mistura completa, com capacidade de 25 L cada.

O desempenho do biodigestor foi testado em duas etapas e com diferentes concentrações de sólidos totais, sendo a primeira com teor de ST de 74,5 g/L e a segunda etapa com concentrações de ST aplicadas às 3 câmaras, sendo elas, respectivamente: 40; 22,8 e 23,2 g/L.

Foram monitorados parâmetros operacionais para que fosse possível avaliar a qualidade da produção, tais como: pH, alcalinidade total e ácidos graxos voláteis e biogás. A intenção do autor foi observar o potencial de bioestabilidade anaeróbica do material orgânico, para que pudesse alcançar o máximo aproveitamento energético.

3.7.6 Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio

Segundo REIS (2012), seu projeto teve o intuito de avaliar a tratabilidade através de biodigestor anaeróbio para RSO, provenientes de uma cozinha e restaurante de uma universidade. O reator era composto por 500 L, e monitorado aproximadamente por 600 dias para avaliar a produção do biogás que nesse primeiro instante foi de 0,9 m³ por semana e a remoção de matéria orgânica de 82%.

Como pode ser visto na figura 3 o biodigestor empregado é de pequeno porte, fora utilizados nas cantinas e restaurantes próximos ao mesmo

Figura 3: Protótipo de Biodigestor em escola



Fonte: Protótipo, REIS, 2012.

3.8 Outros Estudos Propostos para o Tratamento de RSO

Outros estudos propostos para o tratamento de resíduos sólidos orgânicos foram publicados por GUIÃO (2015), testando duas rodadas em regime de batelada, sendo utilizados diferentes tipos de pré-tratamento, como: com aeração forçada, térmico, termoquímico e com adição de composto maturado. Foram mantidos constantemente a temperatura de 40°C e possuía misturadores automáticos.

METZ (2013) construiu um biodigestor caseiro para demonstrar a produção de biogás e biofertilizantes em escolas situadas em meios urbanos, observando parâmetros operacionais como a temperatura em função da produção de biogás, além de analisar o produto secundário da biodigestão anaeróbica para formação de biofertilizantes. A produção de biogás se manteve por 90 dias.

FELIZOLA et al. (2006) utilizaram em seu projeto resíduos provenientes do descartes de alimentos de restaurantes e o lodo de esgoto sanitário, para que fosse possível controlar a umidade presente no substrato. Apesar de notar acidez do afluente em alguns momentos devido a presença de frutas, verduras e legumes em

sua composição, o efluente monitorado sempre esteve acima de 7 e foi observada a redução de 97% STV.

Outro modelo testado, foi produzido pela indústria sueca FOV BIOGÁS e testado por RAJENDRAN *et al.* (2013). A produção de biogás era proveniente de resíduos sólidos orgânicos e a operação se deu a temperatura constante de aproximadamente 25 °C, obteve-se valores de produção de 569L de biogás/g SV/dia em um período de aproximadamente 100 dias.

3.9 Modelos de Biodigestores

3.9.1 Biodigestor home biogás

O biodigestor Home Biogás apresentado na figura 4 é um conversor com capacidade de gerar gás para cozinhar de duas a quatro horas por dia e, gerando de cinco a oito litros de fertilizante. O preço para venda do equipamento completo é de U\$ 1.500, no Brasil seria vendido por R\$ 4.800 (quatro mil e oitocentos reais), (HOMEBIOGÁS, 2017).

Figura 4: Biodigestor HOME BIOGÁS



Fonte: HOME BIOGÁS, 2017.

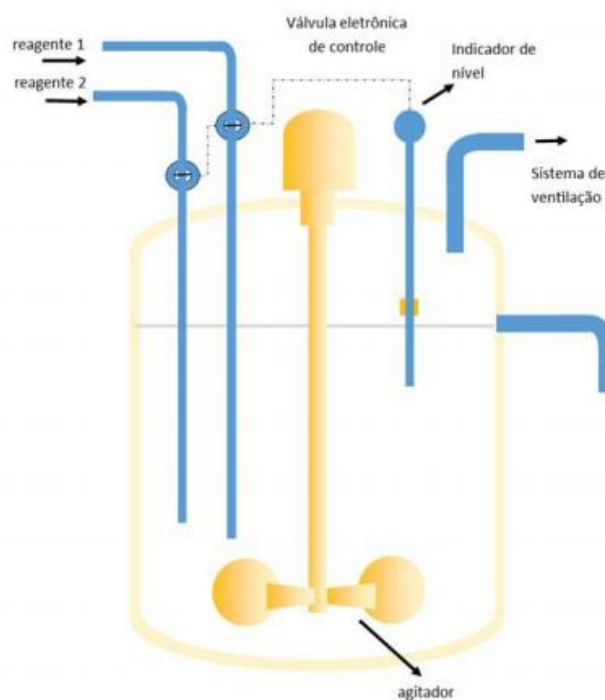
3.9.2 Biodigestor CSTR

O modelo CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) conforme figura 5 é um biodigestor que comporta elevadas COV (1 a 4 kg SV.m⁻³.d⁻¹), é uma de suas características é ter seu conteúdo homogeneizado através da presença de sistema de agitação e de aquecimento. O CSTR tem seu tempo de retenção hidráulica (TRH) equivalente ao tempo de retenção de sólidos (TRS), porém parte-se da hipótese de que não tem acúmulo de lodo no fundo do reator por se tratar de um modelo com sistema de mistura completa.

Mesmo sendo um sistema mais caro, por ter aquecimento e agitação, trás um auxílio em relação ao processo dentro do biodigestor e mantém os sólidos em suspensão melhorando o contato entre os microrganismos e a matéria orgânica, e também uma maior capacidade de produção de biogás.

Segundo KARIM *et al.* (2005, p. 20 *apud* CIBiogás 2015), para o CSTR ter um bom desempenho a utilização de sistema de agitação é viável, e tem um ganho de 15 a 30% na produtividade de biogás.

Figura 5: Biodigestor CSTR

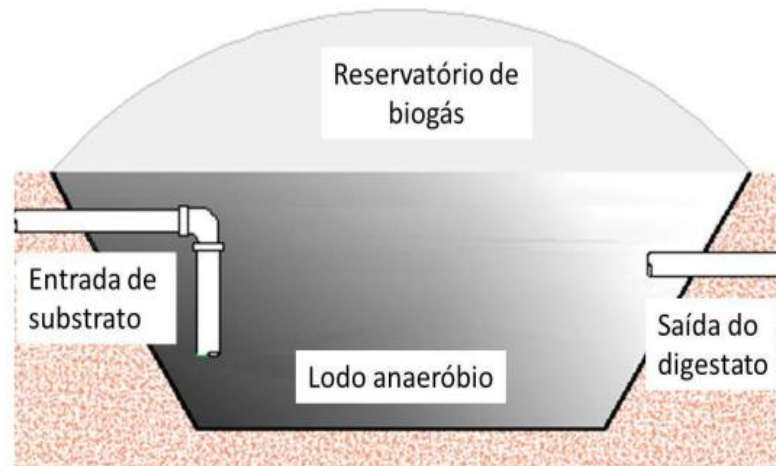


Fonte: CIBiogás, 2016.

3.9.3 Biodigestor lagoa coberta (BLC)

Mais conhecido como biodigestor de Lona é feito como um tanque escavado com base retangular de seção trapezoidal, em solo impermeabilizado e revestido com material geossintético (PVC, PEAD), visto na figura 6.

Figura 6: Biodigestor de Lona



Fonte: CIBiogás, 2016

Tem sido utilizado como gerenciamento em meio rural para efluentes da produção animal. Seu nível tecnológico é baixo por não utilizar sistemas de agitação e aquecimento para seu funcionamento, porém o mesmo requer uma área grande para sua construção.

Por não ter o sistema de aquecimento sofre variação da temperatura ambiente, influenciando diretamente a capacidade de geração de biogás. Haverá também o acúmulo de lodo no fundo do tanque como pode-se ver na figura 7, criando uma necessidade de descarte do mesmo.

Figura 7: Biodigestor Lona, com lodo de resíduo

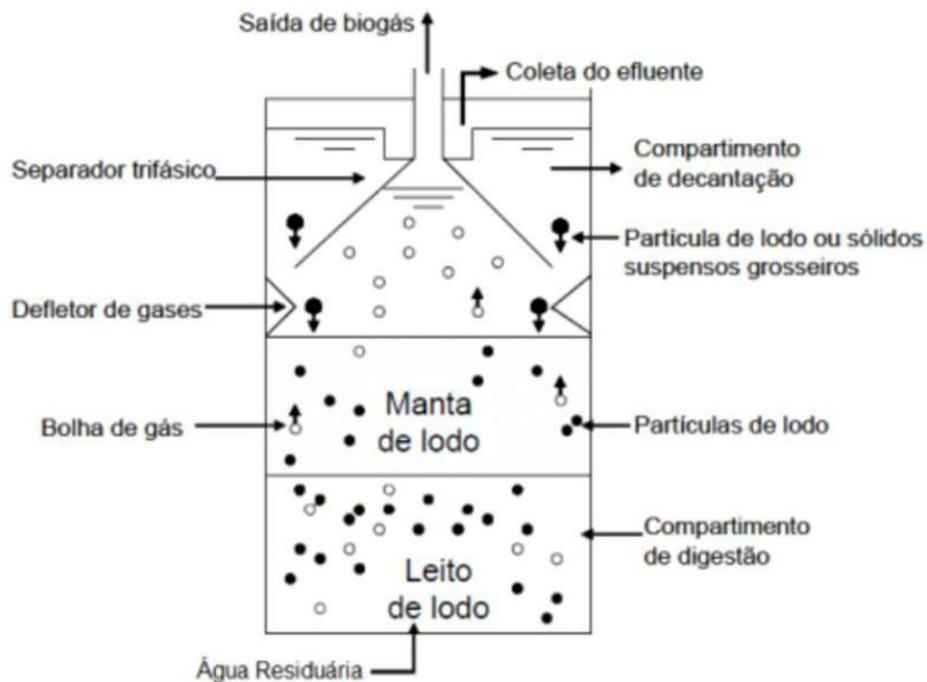


Fonte: CIBiogás, 2016

Segundo Catrell *et al.* (2008), esse modelo é indicado para tratamento de efluentes com concentração de sólidos mais baixas (até cerca de 3% (m.v-1) de sólidos totais), e uma baixa COV, entre 0,3 a 0,5 kg SV.m-3 reator.d-1. Com isso tem uma produtividade de biogás de aproximadamente 0,03 e 0,15 m³.m-3 reator.d-1, onde pode variar de acordo com tipo de substrato, quantidade da COV, temperatura de operação.

3.9.4 Biodigestor tipo UASB

Uma das características do biodigestor UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) figura 8, é o fluxo ascendente do afluente, através de uma manta de lodo que cobre até o topo do reator, que tem um separador trifásico.

Figura 8: Reator UASB

Fonte: CIBiogás, 2016.

O reator do modelo UASB tem como característica a alta capacidade de retenção de biomassa, com isso permite trabalhar com baixo tempo de retenção hidráulica de 4 a 72 horas. Esse reator visa a estabilidade em sistema, das características e de situações de variações do afluente, dando suporte a uma alta COV entre (0,5 a 8,0 Kg SV.m-3.d-1 ou 2 a 32 kg DQO solúvel.m-3.d-1), principalmente em condições que a matéria orgânica se encontra solubilizada. O afluente do reator, por apresentar condições hidrodinâmicas, deve ter uma baixa concentração de ST (<2%). Esse acontecimento indica que, muitas vezes é necessário um pré-tratamento quando se trata de tratamento de efluentes da produção de animal.

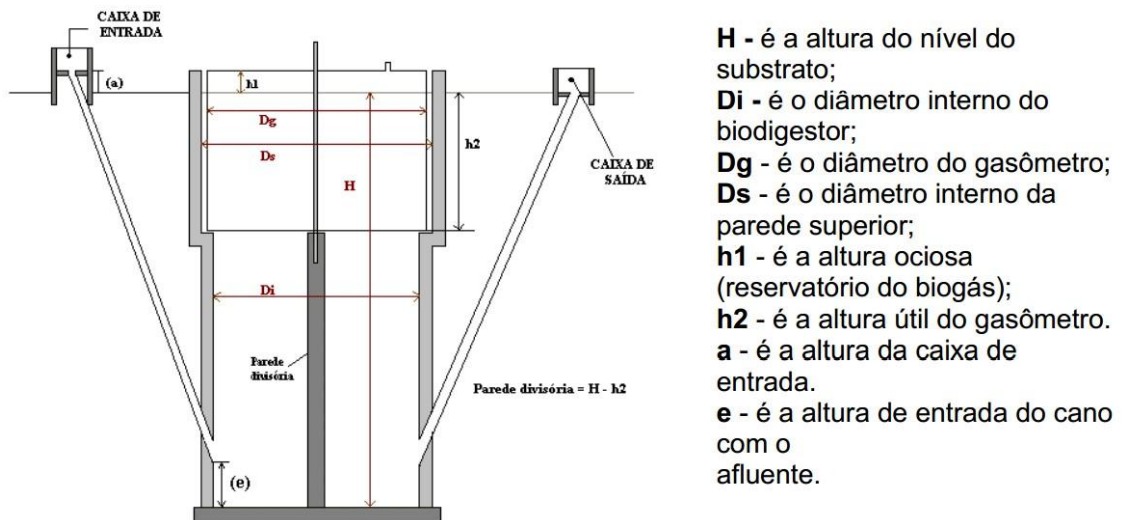
3.9.5 Biodigestor indiano

Esse modelo de biodigestor também conhecido por biodigestor Indiano, muito utilizado para pequena escala, como ilustrado na figura 9 tem uma característica específica por conter uma campânula como um gasômetro, onde pode estar em fermentação afundada sobre a biomassa. Possui em seu meio uma parede com o intuito de que o material consiga circular por todo o interior, que divide em duas

câmaras o tanque de fermentação. Esse biodigestor é operado a pressão constante para a produção de biogás, uma vez que em primeiro instante o volume de gás produzido não é totalmente utilizado, o gasômetro se desloca verticalmente aumentando seu volume. O teor de ST para o resíduo ideal para ser utilizado na alimentação desse biodigestor seria indicado não superior a 8%, para facilitar que o resíduo tenha uma circulação dentro da câmara de fermentação.

É um biodigestor de fácil construção, porém por tem gasômetro de metal encarece o mesmo.

Figura 9: Biodigestor Indiano

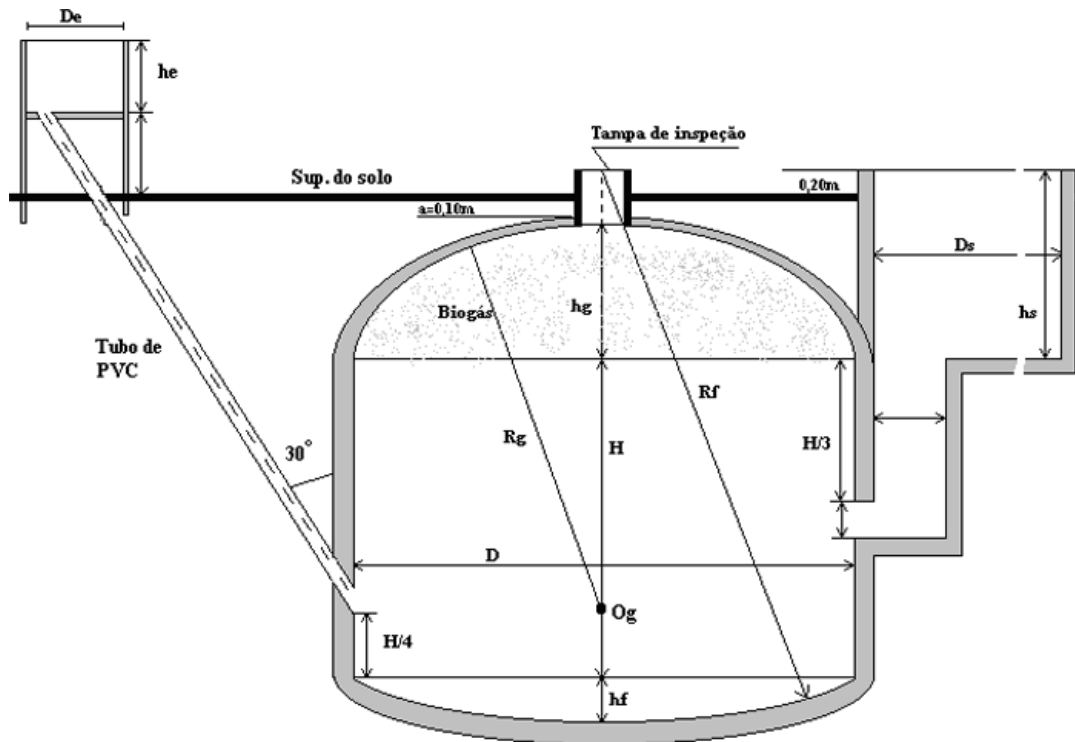


Fonte: DEGANUTTI (2002) UNESP

3.9.6 Digestor chinês

O digestor chinês é feito por uma câmara de tijolo impermeável. Esse modelo funciona no princípio de prensa hidráulica. Grande parte da construção do modelo Chinês é de alvenaria, onde não faz-se necessário o uso de gasômetro com chapa de aço, reduzindo seu custo final. Nesse caso o digestor deve ser bem impermeabilizado e vedado para que não ocorra vazamento de biogás. Não são totalmente eficientes para uso de grande porte. Similar ao modelo Indiano, o teor de ST para o resíduo ideal para ser utilizado na alimentação desse biodigestor seria indicado não superior a 8%, para facilitar que o resíduo tenha uma circulação dentro da câmara de fermentação. Conforme figura 10.

Figura 10: Biodigestor Chinês



Fonte: DEGANUTTI (2002) UNESP

4 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste estudo foi adotada uma metodologia de cunho exploratório e de objetivo explicativo, tendo em vista os procedimentos elencados: bibliográfico e experimental. Quanto a sua estruturação, subdivide-se em duas macros- etapas, sendo: etapa de ativação do inoculo (start up) e testes operacionais.

Foram utilizados documentos, livros, normas técnicas, artigos e periódicos que abordam o assunto, além de consultas a sites especializados no assunto.

4.1 Biodigestor Utilizado

Foi utilizado um biodigestor com capacidade de 500 litros, construído em fibra de vidro, equipado com misturador manual interno, filtro de água, filtro de H₂S e gasômetro adaptado com duas câmaras de ar de caminhão, com o volume 221,55 cm³ cada, ilustrado nas figuras 11 e 12.

Figura 11: Protótipo biodigestor anaeróbio



Fonte: Próprio autor (2017).

Figura 12: Protótipo biodigestor anaeróbio



Fonte: Próprio autor (2017).

Para montagem do biodigestor protótipo em questão, incluindo acessórios mencionados, têm em média um custo de R\$ 1.500,00 (mil e quinhentos reais)

4.2 Experimentos Realizados

Os experimentos foram realizados em uma residência do município de Volta Redonda, localizada a latitude de 22° 29' 45" S e longitude de 44° 04' 58" O, com altitude média de 375 m, em local exposto a alterações climáticas.

Os experimentos foram divididos em seis rodadas, que tiveram procedimentos comuns e específicos.

4.2.1 Procedimentos comuns das rodadas

Pré-tratamento dos RSO via trituração utilizando-se um liquidificador industrial de alimentos marca Metvisa, alta rotação, com capacidade para 6 litros.

Diluição em água sem cloro, utilizando-se o dobro de litros de água em relação ao total de resíduos em kg de peso úmido, como ilustrado na figura 13.

Figura 13: Trituração dos RSO

Fonte: Próprio autor (2017).

4.2.2 Escolha do modelo de biodigestor

Segundo CI Biogás (2016) o modelo de mistura completa CSTR é alimentado com maior carga volumétrica (1 a 4 kg SV.m⁻³ por dia) e teor de ST variando entre 5 e 10%. Por ter o sistema de agitação e de aquecimento, o custo para implantação e manutenção deste modelo é mais alto, porém estabelecem ótimas condições para o contato entre o microorganismo e a matéria orgânica, tendo uma produção de biogás eficiente. Já o modelo de biodigestor de lona, não possui mistura completa e aquecimento, por isto tem um custo mais acessível. Por outro lado, sem a mistura completa os sólidos se acumulam no fundo do biodigestor, gerando lodo, que implica a necessidade de uma área maior para instalação. Esse modelo é na maioria das vezes utilizado para tratamento de efluente com baixa concentração de sólidos até cerca de 3% (m.v⁻¹) de ST, opera com uma baixa carga volumétrica entre 0,3 e 0,5 kg SV.m⁻³ por dia, e a produção de biogás varia de acordo com o substrato entre 0,03 e 0,15 m³.m⁻³ por dia.

Com a intenção de produzir um modelo de biodigestor urbano, de baixo custo e operação em pequena escala, foi usado como protótipo do projeto um modelo híbrido entre o CSTR e o de Lona.

Com o objetivo de operar entre 5 e 10 % de ST, adotou-se em todas as rodadas de alimentação uma diluição entre a matéria orgânica e água de 2:1. Desta forma seria gerado o mínimo de efluente possível, para destinação em áreas verdes próximas a localidade de instalação do biodigestor, uma vez que o descarte de efluente pode ser um problema nas regiões urbanas, pois muitas vezes o usuário não tem área verde disponível para utilizá-lo como biofertilizante.

4.2.3 Estratégia de mistura

Conforme figura 14, o conteúdo do biodigestor foi misturado diariamente, de forma manual, por cerca de 1 minuto, mesmo em dias que não foram realizados os procedimentos de alimentação.

Figura 14: Mistura manual do biodigestor



Fonte: TV Rio Sul Revista, (2017).

4.3 Alimentação

Em cada procedimento de alimentação foi retirado uma quantidade de inóculo igual em litros a quantidade de RSO e água aportados na ocasião.

As alimentações foram realizadas sempre no período da manhã, sendo os resíduos pré-tratados uma vez por semana e armazenados a temperatura ambiente.

Como pode ser visto na figura 15, as matérias primas utilizadas foram RSO crus e cozidos provenientes de cozinhas, coletados na vizinhança e em restaurantes próximos ao local do biodigestor.

Figura 15: RSO cru.



Fonte: TV Rio Sul Revista, (2017).

Em algumas rodadas foi também incluído nas alimentações o papel toalha com o objetivo de aumentar a relação C/N do substrato.

Na figura 16 pode ser observada a cor e consistência do substrato.

Figura 16: Alimentação do biodigestor com RSO+papel



Fonte: TV Rio Sul Revista, (2017).

A água utilizada na trituração dos RSO foi deixada em repouso por sete dias antes da utilização objetivando diminuir o teor de cloro por evaporação, segundo metodologia sugerida em ALCOBIA (2016).

O cloro é um produto para tratar a água, prejudicando a atividade das bactérias no processo de digestão anaeróbica, levando inclusive a sua mortandade.

Para verificar a eficiência da metodologia de evaporação do cloro através do repouso, foram realizados durante 7 dias testes de presença de cloro na água deixada em repouso, utilizando-se kit de teste Limper, baseado em coloração relativa a ppm de cloro na água.

4.3.1 Descritivos das rodadas e seus procedimentos específicos

a) Start up do inóculo

Para a ativação do inóculo foram utilizados 150L de esterco bovino fresco e 300L de água sem cloro, na proporção de 1:2, respectivamente, conforme descrito em BIOTECH (2017).

b) 1ª rodada

A 1ª rodada iniciou-se em 29 de junho de 2016 e se estendeu até 16 de agosto de 2016, compreendendo 48 dias de operação. Neste período o biodigestor foi alimentado com 636 g de peso úmido por dia e uma COV (carga orgânica volumétrica) de 0,31 g de sv por litro de inóculo por dia em média.

c) 2ª rodada

Esta rodada teve início no dia 24 de agosto e operou até 27 de setembro de 2016, compreendendo 35 dias de operação. A carga orgânica foi aumentada para verificar como seria o comportamento do biodigestor. Neste período o biodigestor foi alimentado com 1.931 g de peso úmido por dia e uma COV de 0,94 g de sv por litro por dia em média.

d) 3ª rodada

Rodada para estabilização do sistema após desestabilização da 2ª rodada. Teve início no dia 20 de outubro e operou até 02 de novembro de 2016, compreendendo 14 dias de operação. Neste período o biodigestor foi alimentado com 554 g de peso úmido por dia e uma COV de 0,27 g de sv por litro por dia em média.

e) 4ª rodada

Esta rodada teve início em 3 de novembro de 2016 até 11 de janeiro de 2017. Neste período o biodigestor foi alimentado com 835 g de peso úmido por dia, correspondendo a uma COV de 0,5 g de sv por litro por dia em média.

Além dos RSO foi adicionado 200 g de papel, para aumentar a relação C/N, favorecendo o processo de digestão anaeróbica (DA), pois segundo MATA-ALVAREZ (2003) o processo de DA é favorecido com relação C/N entre 16/1 e 30/1. Essa rodada foi realizada no período de 69 dias.

f) 5ª rodada

A 5ª rodada foi operada por 18 dias, ocorrendo entre 2 de fevereiro até 20 de fevereiro de 2017. Neste período foi aumentada a carga para 2.210 g de peso úmido por dia, correspondendo uma COV de 1,07 g de sv por litro por dia em média.

g) 6ª rodada

Na 6ª rodada foi operada por 45 dias, no período de 12 de abril de 2017 até 26 de maio, sendo a carga aumentada para 3.483 g de peso úmido por dia, correspondendo a uma COV de 1,21 g de sv por litro por dia em média. Além dos RSO, a carga de papel foi aumentada para 500 g na rodada.

4.4 Parâmetros de Monitoramento

Os parâmetros de monitoramento foram a produção de biogás, pH, temperatura, teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) do efluente e dos RSO e a relação C/N dos RSO.

4.4.1 Volume de biogás gerado

A produção de biogás foi medida em litros utilizando-se medidor de vazão termal modelo Brooks 4800 e os resultados foram apresentados em litros de biogás por grama de sólido volátil adicionada por dia (L/g SV/d).

4.4.2 Medição do pH do RSO e efluente

O pH do inoculo foi medido semanalmente utilizando-se um pH-metro de bancada modelo HANNA instruments, HI 2221, como figura 17.

Figura 17: Medição de pH do efluente e RSO



Fonte: TV Rio Sul Revista, (2017).

Para correção do pH em episódios de acidificação, foi utilizado Na_2CO_3 (barrilha “de piscina”) na 5ª e 6ª rodadas, devido ao seu baixo custo e facilidade de aquisição, conforme comunicação pessoal de FERRAZ (2017).

4.4.3 Análises de ST e SV

Análises de ST e SV foram realizadas para verificar o teor de ST e a COV de aporte dos resíduos utilizados, assim como para verificar a degradabilidade do efluente obtido no processo.

Os teores de ST e SV foram determinados de acordo com VDI 4630, 2006. Esse procedimento foi realizado por três vezes durante todo o período operacional.

4.4.4 Monitoramento da temperatura

Os dados relativos à temperatura ambiente foram obtidos em AccuWeather (2017) para avaliação da influencia da mesma sobre o processo.

4.4.5 Relação C/N

GOMES *et al.* (2001) descrevem que para se obter a relação C/N de um resíduo é necessário que se tenha o valor exato da composição de N e de C separadamente para cada resíduo utilizado, e a partir daí a C/N pode ser calculada através da formula abaixo:

$$\text{PMRC} = \frac{(30 \times \text{Nn}) - \text{Cn}}{\text{Cc} - (30 \times \text{Nc})}$$

onde:

PMRC = partes de material rico em carbono;

Nn = teor de N do material rico em nitrogênio;

Cn = teor de carbono (C) do material rico em N;

Cc = teor de carbono do material rico em C;

Nc = teor de N do material rico em C.

Com esta fórmula vamos encontrar a quantidade de partes de material rico em carbono e em nitrogênio que será usada na mistura.

A tabela 2 com as composições médias de alguns materiais orgânicos utilizados em biodigestores:

Tabela 2: Composição média dos materiais orgânicos

Composição Média dos Materiais Orgânicos				
Resíduos orgânicos	MO	C org	N	C/N
	%			
Materiais ricos em nitrogênio (N)				
Esterco aves	51,6	30	3,2	9
Esterco suínos	34,4	20	1,5	13
Esterco bovinos	62	36	1,92	19
Lodo de esgoto	51,6	30	3,2	9
Torta usina cana	75,3	43,8	2,19	20
Materiais ricos em carbono (C)				
Bagaço de cana	72	41,5	1,07	38
Café - palha	90	51,7	0,62	83
Capim jaraguá	86,9	50,6	0,79	64
Trigo - palha	87,9	51,5	0,73	70

Fonte: GOMES, 2001.

Porém, no caso dos resíduos utilizados no biodigestor em referência seria difícil ter uma relação C/N real, pois os RSO são de diversos tipos e composições, sendo adotado C/N 15/1 como valor médio da C/N de restos de alimentos e C/N de 170:1 para o papel, segundo MALAJOVICH (2017).

Assim, buscando-se sugerir um método prático para ajuste da relação C/N foi adotada a seguinte regra na tabela 3:

Tabela 3: Proporção C/N

	C/N	Proporção	TOTAL
COMIDA	15	09	135
PAPEL	170	01	170
		TOTAL	305
		C/N FINAL	30,5

Fonte: Próprio autor

Onde:

C/N comida: 15

C/N papel: 170

C/N desejada: 30

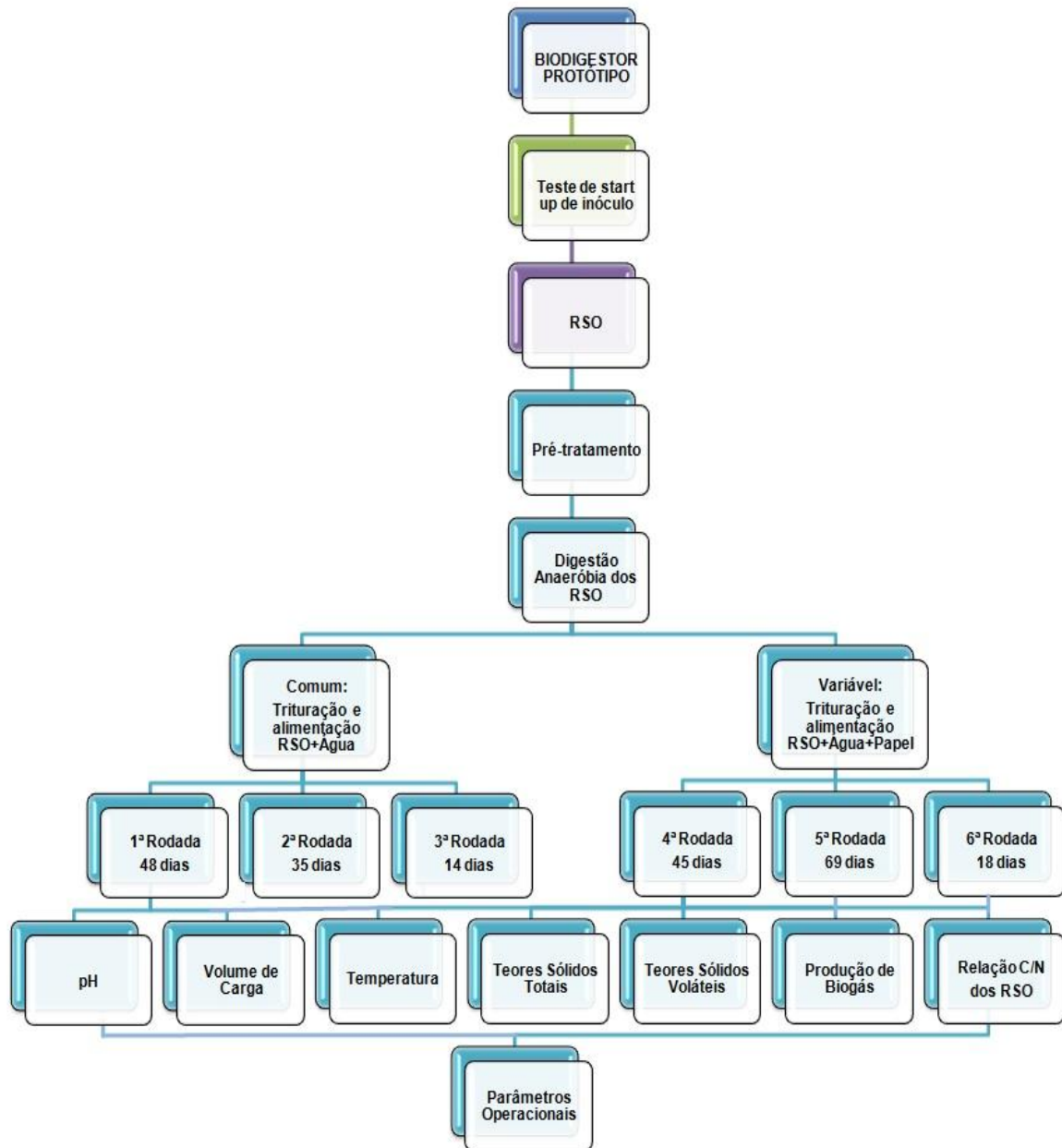
Assim, via multiplicação da C/N de cada resíduo pela proporção aleatória de cada um deles, obtinha-se, um valor para cada resíduo e em somatório, o valor final de C/N desejado.

Portando, adotou-se, de acordo com a formulação matemática proposta, a relação de 90% de comida para 10% de papel em todas as rodadas que continham papel nos RSO.

4.5 Fluxograma do Processo do Biodigestor e as Análises Experimentais

A figura 18 apresenta o fluxograma do presente trabalho.

Figura 18: Fluxograma do processo biodigestor



Fonte: Elaborado pelos autores, (2017).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 *Start Up* do Inóculo

Essa fase, chamada período de ativação do inóculo, durou 54 dias entre maio e junho de 2016. A estabilidade do inoculo foi identificada a partir da observância de parâmetros como a coloração azulada e constância de queima da chama sem necessidade de faísca e pH estável em 7, como sugerido em BIOTECH (2017). Segundo Home Biogás (2017) a expectativa de tempo para o start up de inoculo é de 1 a 3 semanas considerando-se uma temperatura ambiente de 25 °C.

GUIÃO (2015) obteve estabilização do inóculo em 24 dias, em temperatura ambiente, entre outubro e novembro de 2014, observada quando o pH atingiu 6,9 e o biogás atingiu mais de 50% de CH₄.

FELIZOLA et al. (2006), deixaram o substrato retido por 60 dias, sem nenhum equipamento que pudesse manter a temperatura constante, até observarem estabilização de parâmetros.

RAJENDRAN et al. (2013) operou seu experimento em uma sala com temperatura mantida entre 22 e 25 °C e obteve ativação do inoculo após 40 dias.

PROBIOGÁS (2013) recomenda que a ativação do inóculo anaeróbico de esterco bovino líquido leva-se em média 25 dias até a estabilização.

Acredita-se que o longo período de start up do presente projeto, 8 semanas, em comparação ao menor tempo observado pelo autores citados anteriormente, esteja relacionado com a época mais fria do ano, final do outono e início do inverno, com temperatura média de 21,5 °C. Corrobora com esta hipótese o sugerido em Home Biogás (2017), que indica o verão como melhor época para *stat up* de inoculo anaeróbico a temperatura ambiente.

5.2 Resultado das Rodadas

5.2.1 Parâmetros operacionais

Foram apresentados na tabela 4 os dados levantados durante todas as rodadas, sendo: período de operação, estações do ano, dias operados, COV (g

SV/L/dia), temperatura média, pH e produção de biogás (L/g SV/dia). Em vermelho são indicados os valores considerados críticos para produtividade do biodigestor.

Tabela 4: Parâmetros operacionais

PARÂMETROS OPERACIONAIS	Período de Operação	Estação Predominante	Dias Operados	COV (g/sv/L/dia)	Média Temperatura °C	pH	Produção de Biogás (L/g sv /dia)
RELAÇÃO C/N 16:1							
Rodada 1	29/06 á 16/08	Inverno	48	0,31	22,3	7,1	0,22
Rodada 2	24/08 á 27/09	Inverno	35	0,94	23,3	-	-
Rodada 3	20/10 á 02/11	Primavera	14	0,27	25,7	7,0	-
RELAÇÃO C/N 30:1							
Rodada 4	03/11 á 11/01	Verão	69	0,5	26,4	-	0,69
Rodada 5	02/02 á 20/02	Verão	18	1,07	29	5,6	-
Rodada 6	12/04 á 16/05	Outono	45	1,21	23,2	6,7	0,11

Fonte: Próprio autor (2017).

a) 1ª rodada

Para dar início ao processo de alimentação com RSO foi colocada uma COV baixa, de 0,31 g de sv por litro por dia, visto que o inóculo bovino previamente ativado não se encontrava adaptado a biodigestão de RSO.

Tal valor de COV, entre 0,3 e 0,5 g SV/L/dia, foi descrito em CIBILOGÁS (2017) como adequado para biodigestores do gênero, ou seja, sem aquecimento e pouca ou nenhuma mistura, valor que manteria a estabilidade na operação.

A produção de biogás para esse período de operação foi de 0,22 L de biogás por g de sv por dia, sob influência da temperatura média de 22,3°C, sendo ligeiramente inferior ao obtido por RAJENDRAN *et al.* (2013), que encontrou 0,3 L/g SV/dia para a mesma carga orgânica a temperatura constante de 25°C. Tal fato pode ser explicado pela exposição do biodigestor às variações térmicas diárias (noite e dia), uma vez que tal variação é mais expressiva em regiões tropicais do que a variação entre as estações do ano, além da primeira rodada configurar também o período de adaptação do inóculo bovino ao resíduo sólido orgânico.

A primeira rodada foi operada com pH estável para a atividade bacteriana, em torno de 7,1. Segundo CHERNICHARO (2007), o pH ótimo para conservar a atividade de microorganismos metanogênicos está dentro de uma faixa estreita, entre 6,8 - 7,5. Ainda relacionado a pH, (LEBUHN, 2008) disse que a faixa ideal para o desenvolvimento dos microorganismos metanogênicos, seria de 6,5 à 8.

c) 2ª rodada

Na 2ª rodada a COV foi aumentada consideravelmente, utilizando-se 0,94 g de sv por litro por dia. Valor considerado alto para digestores do tipo utilizado, CIBILOGÁS 2017, com pouca mistura e sem aquecimento, pois por não ter sistema de aquecimento e de mistura completa, o ideal era que a carga fosse baixa para que o funcionamento das bactérias se fizesse por inteiro com a degradação da matéria orgânica por completo.

Não foram obtidos dados de produção de biogás devido a problemas técnicos com o medidor de vazão, embora tenha sido possível identificar problemas operacionais no sistema devido a queda na qualidade do biogás gerado, o que foi observado através da alteração no aspecto da chama, visto que vários orifícios do

fogão de teste não queimavam com a passagem do biogás. Tal aspecto pode ser bastante útil para monitoramento do processo de forma prática e barata por usuários diversos.

Assim, mesmo com a temperatura média da segunda rodada de 23,3 °C, superior a rodada 1, o biodigestor não teve capacidade para digerir adequadamente a COV de aporte na rodada, desestabilizando-se.

Segundo PROBIOGAS (2015), digestores convencionais deveriam ser aquecidos a temperaturas de operação em torno de 32 a 38°C, porém isso elevaria muito o custo de produção e manutenção do biodigestor.

Outro problema que pode ser destacado a partir da 2ª rodada, foi o intervalo entre as alimentações, que eram realizadas em três aportes semanais. Nesse período a matéria orgânica pré-triturada se acidificava pela ação de bactérias acidogênicas, mantidas a temperatura ambiente, chegando a ser observado pH entre 3 e 4 em alguns casos.

Nas rodadas em que foram identificados os casos de desestabilização no rendimento do biogás, foram notados episódios de acidificação. A presença de verduras, frutas e legumes na composição do afluente acentuou a ocorrência desse grave problema, e segundo FELIZOLA *et al.* (2006), que utilizou resíduos provenientes do descarte de alimentos de restaurantes e lodo de esgoto sanitário, os valores de pH no afluente variavam em 3,2 - 5,6, por conta dos resíduos sólidos apresentarem características ácidas. Assim como LUNA (2003), também encontrou valores aproximados ácidos no pH de RSU putrescíveis.

As bactérias fermentativas atingem um bom desempenho em pH variando entre 5,0 e 6,0, conseguindo tolerar limites de até 4,5. Porém, como já foi mencionado, as bactérias metanogênicas são mais sensíveis, sendo eficientes na degradação da matéria orgânica em meio neutro. Esta variação é considerada uma das principais dificuldades operacionais de biodigestores de câmara única, pois a redução do pH acelera a ação das bactérias fermentativas, enquanto as demais bactérias que vão consumindo os produtos gerados são atrapalhadas pelo aumento no nível de acidificação no interior do biodigestor.

A sobrecarga orgânica e o excedente de substratos que são facilmente degradáveis, também podem ser causadores de acidez, por resultarem no acúmulo de ácidos orgânicos produzidos na acidogênese, e dessa forma, interferem nas

sequentes etapas do processo anaeróbio, refletindo numa situação de inconstância e desequilíbrio do funcionamento no reator anaeróbico (CHERNICHARO, 2007).

Buscando conter a desestabilização encontrada na segunda rodada, foi iniciada uma curta rodada de estabilização, relativa a 3ª rodada.

d) 3ª rodada

Após desequilíbrio no funcionamento do biodigestor na rodada anterior, foi necessária uma etapa de estabilização, onde a COV foi reduzida para 0,27 g de sv por litro por dia e a operação foi realizada sob influência positiva das maiores temperaturas média de primavera, 25,7 °C. O biodigestor foi considerado estável após 2 semanas de alimentação, o que foi observado pela constância da chama azulada e pH estável em 7, como ocorreu na 1ª rodada após o start up.

Somente após a observação dessas evidencias foi possível dar sequência a próxima rodada.

e) 4ª rodada

Na rodada 4 foi inserido papel nos RSO, com a intenção de aumentar a relação C/N para melhor desempenho do biodigestor. Segundo MATA-ALVAREZ (2003) essa adição favorecia ao processo de digestão anaeróbica. Muitos pesquisadores já vinham testando a produção de biogás com diferentes relações C/N, visando sua influência no volume e composição do biogás, então a relação foi alterada de 15:1 para 30:1.

A EMBRAPA (1998) recomenda atenção na escolha dos compostos usados para as atividades anaeróbicas, indicando uma C/N na faixa de 25:1 a 30:1.

Se o processo for realizado com materiais muito ricos em C e pobres em N, a fermentação passa a ficar mais lenta, por falta de N demandado pela síntese de proteínas. Em condições contrárias, o material com baixo teor de C e alto teor de N ganha um cheiro não muito agradável e características tóxicas relativas a presença de amônia, e seria carente de C para formação de biomassa bacteriana.

TANIMU *et al.* (2014) observaram vantagens na produção de biogás utilizando restos de alimentos com relação C/N ajustada para 30:1, fato também

observado por ACHMAD *et al.* (2016) trabalhando com uma mistura de esterco bovino e plantas aquáticas, obtendo maior percentual de CH₄ no biogás produzido.

Nessa rodada foi utilizada uma COV de 0,5 g de sv por litro por dia, operando a uma temperatura média de 26,4 °C. A produção de biogás obtida foi de 0,69 L de biogás por g de sv por dia, conforme apresentado na tabela 4, não havendo desestabilização, uma vez que a etapa transcorreu por 69 dias (iniciada na primavera e finalizada no verão) sem que fosse observada qualquer inibição.

Tal resultado foi 43% maior ao obtido por RAJENDRAN *et al.* (2013), que obteve cerca de 0,4 L de biogás por g de sv por dia utilizando COV de 0,5 g de sv por L por dia, com temperatura estável em 25°C.

Tal resultado pode ser explicado pela manutenção da temperatura média acima de 25°C, favorecendo o processo de DA, mesmo sobe influencia da variação térmica dia/noite e mistura manual, uma vez ao dia.

f) 5ª rodada

Na 5ª rodada a COV foi aumentada para 1,07 g de sv por L por dia, o que levou a desestabilização do biodigestor pela segunda vez. A operação nessa etapa ocorreu novamente sem o medidor de produção de biogás, portanto os parâmetros indicadores da queda da produção foram: as características da chama no fogão experimental, o pH do efluente, em torno de 5,6, e observação prática da produção de biogás menor em relação a rodadas anteriores.

Mesmo sendo a rodada com temperatura média mais alta, 29°C e operação baseada na relação C/N de 30:1, operou-se por apenas 18 dias, onde pode ser observado que a carga de aporte extrapolou a faixa indicada para estabilidade no modelo adotado, de no máximo 0,5 g de sv por L por dia (CIBIOGÁS 2017).

Com a desestabilização observada o biodigestor foi deixado um período sem alimentação em torno de 40 dias até a retomada dos testes da 6ª rodada.

g) 6ª rodada

Nesta rodada optou-se por tamponar o pH artificialmente, utilizando-se Na₂CO₃ (solução tampão), e ao mesmo tempo aumentar a COV para 1,21 g de sv

por L por dia. Foi observada uma produção de biogás muito baixa de 0,11 L de biogás por g de sv por dia.

Contudo, do mesmo modo que aconteceu na 2ª e 5ª rodada, quando a carga de COV chegou próximo ou superior a 1 observou-se a desestabilização do processo mesmo com tamponamento do pH, que se manteve próximo a 7.

Os possíveis fatores da desestabilização dessa rodada podem estar relacionados às menores temperaturas médias durante o experimento, 23,2°C, a maior COV utilizada e a difícil degradabilidade da celulose contida no papel, adicionado como fonte extra de carbono, o que dificulta a degradação do RSO ao invés de colaborar na atividade das bactérias, como sugerido em Home Biogás (2017) e BIOTECH (2017). Assim, a adição de papel como fonte de carbono não parece ser uma prática vantajosa e recomendável para operação nas condições em teste.

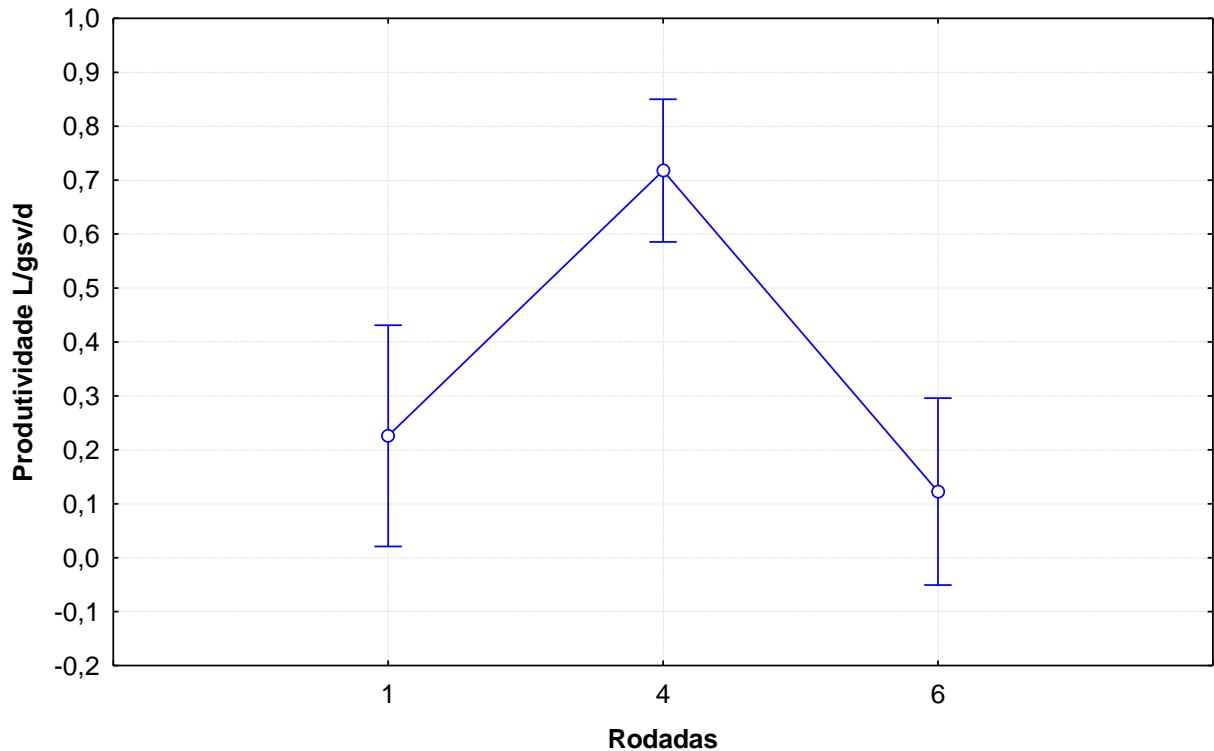
5.3 Considerações Adicionais

Entre as três rodadas em que foi possível medir efetivamente a produção de biogás, rodadas 1, 4 e 6, somente a rodada 4 obteve produção estatisticamente superior as demais, a um nível de confiança de 95% segundo a ANOVA, como visto no gráfico 2.

Gráfico 2: Produção de biogás em L/g SV/dia**Produção de biogás em L/gsv adicionado/dia**Current effect: $F(2, 45)=17,955, p=,00000$

Effective hypothesis decomposition

Vertical bars denote 0,95 confidence intervals



Fonte: Statistica ANOVA, (2017).

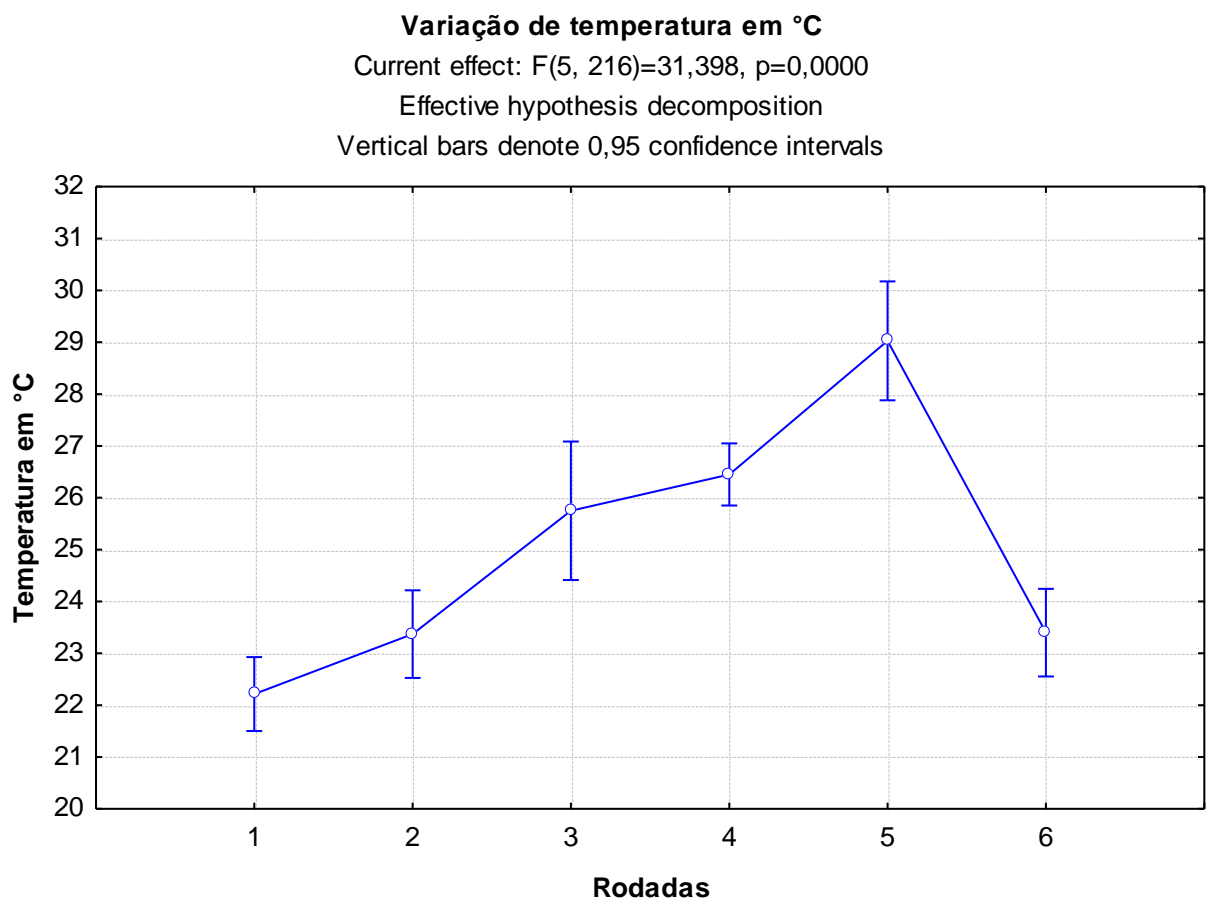
Apresentados os dados, pode ser notado que a capacidade do biodigestor oscilava à medida que a COV se aproximava de 1,0 g SV//dia, rodadas 2, 5 e 6, pelo menos nas condições operacionais aqui descritas. Por outro lado, RAJENDRAN *et al.* (2013) obtiveram 570 L/kg/sv/d operando com COV de 1,0 g SV/L/d, sem que houvessem episódios de desestabilização. Tal fato pode ser explicado pela manutenção da temperatura constante em 25 °C.

Da mesma forma, JEIHANIPOUR *et al.* (2012) operaram satisfatoriamente seu experimento com COV 2.7 g SV/L/dia, valor bastante superior ao limite de 1g SV/L/dia, considerado limitante no presente trabalho. Contudo, estes autores operaram com biodigestor de mistura completa automática e temperatura termofílica, mantida constante em 55°C, sendo observados episódios de desestabilização somente com COV de 4 g SV/L/dia.

5.3.1 Influência das temperaturas

As médias e desvios das temperaturas observadas no período experimental, apresentadas no gráfico 3, evidenciam que a maior temperatura foi observada na rodada 5, seguida pelas rodadas 3 e 4, não diferentes entre si, porém maiores que as temperaturas obtidas nas rodadas 1, 2 e 6 respectivamente, com 95% de confiança segundo a ANOVA .

Gráfico 3: Variação de temperatura °C



Fonte: Statistica ANOVA, (2017).

Assim, comparando-se as rodadas 1 (COV 0,31, T 22,3°C, produção biogás 0,22 L/g SV/dia) e 4 (COV 0,5, T 26,4°C, produção biogás 0,69 L/g SV/dia), foi possível observar que mesmo uma diferença média de apenas 4°C resultou em uma produção de biogás 63% menor na rodada 1. De fato, SOUZA et al. (2002), testando o desempenho de biodigestores em três temperaturas (25, 35 e 40 °C), observaram que temperaturas de 40 e 35 °C não diferiam consideravelmente entre si, embora

resultem em maior produção de biogás (118,82 e 147,37 l) do que a biodigestão a temperatura de 25 °C, com produção significativamente menor, (27,14 l), ou aproximadamente 65 % menor. Visando o custo benefício, estes autores sugerem operação a 35 °C.

Baseado no exposto, vale a pena ressaltar a diminuição significativa da produção de biogás com 4°C de diferença de temperatura, entre as rodadas 1 e 4, embora a 1ª rodada representasse uma fase inicial de adaptação do inoculo bovino a digestão de RSO, o que pode dificultar a biodigestão como já discutido.

Por outro lado, mesmo com temperatura média significativamente maior que as demais, 29°C em média, a 5ª rodada apresentou desestabilização do biodigestor, como já discutido, evidenciando que uma COV de 1,07g de sv/L/dia não pode ser suportada, mesmo no verão, por digestores sem aparatos tecnológicos de mistura e aquecimento e com o teor de ST, 7,5% em média, praticado.

Assim, sugere-se que em temperaturas médias acima de 25°C (primavera e verão) tais modelos de biodigestor seja operados a uma COV de 0,5 g SV/L/dia, e com COV de no máximo 0,3 g SV/L/dia em períodos de temperatura média inferior a 25°C (inverno e outono), sendo essa a faixa de COV sugerida para operação anual dos modelos de biodigestor e características operacionais em questão, resultado bastante semelhante ao indicado para digestores em lona (CIBiogás, 2017).

Segundo MATA-ALVAREZ (2003), a temperatura é considerada o fator físico mais influente na DA, capaz de comprometer diretamente a velocidade das reações bioquímicas no processo anaeróbio.

No bairro Barreira Cravo, localizado na cidade de Volta Redonda onde o biodigestor foi instalado e operado, os verões são quentes e chuvosos e invernos secos, que se classifica o clima como mesotérmico.

Corroborando com o discutido os resultados obtidos em AMORIM et al (2003), onde as estações do ano tiveram influência direta na produção de biogás, com produção de 1,06 m³ no verão, 0,88 m³ no inverno, 0,88 m³ no outono e 0,99 m³ na primavera em biodigestores mantidos a temperatura ambiente.

5.3.2 Ensaio da barrilha (Na_2CO_3)

Buscando sugerir números práticos, a título de referência inicial, para estabilização do pH com barrilha em operações de DA em biodigestores de câmara única, são apresentados os seguintes resultados:

Exemplo 1)

pH inicial = 6,53

Adição de 300g de barrilha em 500l de inoculo

pH final = 6,96

Exemplo 2)

pH inicial = 6,71

Adição de 100g de barrilha em 500l de inoculo

pH final = 6,97

Exemplo 3)

pH inicial = 6,92

Adição de 100g de barrilha em 500l de inoculo

pH final = 7,02

Exemplo 4)

pH inicial = 6,08

Adição de 200g de barrilha em 500l de inoculo

pH final = 7,04

Exemplo 5)

pH inicial = 6,83

Adição de 50g de barrilha em 500l de inoculo

pH final = 7,2

Considerando-se os resultados acima, sugere-se que em média 485 g de Na_2CO_3 (barrilha) sejam necessários para aumentar em 1 o pH em 500L de inóculo de DA. Obviamente esta relação pode variar em função do valor inicial do pH que se

pretende elevar, sendo portanto um dado prático que demanda investigações futuras para maior confiabilidade de aplicação.

FDEZ-GUELFO et al. (2012) mantiveram o pH estável utilizando um estabilizador de pH que controlava e corrigia, ao adicionar 5 N de NaOH (hidróxido de sódio) e 1 N H₃PO₄ (ácido fosfórico), estabelecendo uma faixa de pH entre 6,5 – 8,0, que é o adequado para atividade dos microorganismos da metanogênese.

BISCHOFBERGER *et al.* (2005) indica o uso do hidróxido de sódio (NaOH) como alcalinizante para os procedimentos anaeróbicos, porém caso aconteça o aumento de pressão no nível de CO₂ no sistema, e for usado alcalinizantes com carbonatos (Na₂CO₃) para estabilização, exigiria uma dosagem superior ao NaOH, mais ainda permanece viável o uso desse carbonato para estabilização por ser de fácil acesso e de baixo custo.

5.3.3 Sólidos totais e sólidos voláteis

Em relação a ST e SV foram obtidos os resultados conforme tabela 5:

Tabela 5: Análises, médias e desvio padrão de ST e SV

Análises	RSO		Efluente	
	ST	SV	ST	SV
1 ^a	7,70%	90,30%	7,50%	84,80%
2 ^a	7,40%	91,60%	3,10%	73,40%
3 ^a	7,50%	97,00%	3,60%	71,40%

	RSO		Efluente	
	ST	SV	ST	SV
Média	7,53%	92,97%	4,73%	76,53%
Desvio padrão	0,15%	3,55%	2,41%	7,23%

Fonte: Próprio autor, (2017).

Como visto acima, o percentual de degradação de SV e ST no efluente em relação ao RSO aportado foi em média 16,44% e 37% respectivamente, valor de degradação bastante baixo comparando-se com os obtidos por RAJENDRAN et al. (2011) 50% de degradação, REIS (2012) 82% degradação, FELIZOLA *et al.* (2006) 97% e BOUALLAGUI et al. (2003) 75% de degradação de SV respectivamente. Já

SILVA et al. (2013), encontrou eficiência de redução 40,85% de ST em comparação aos 37% observados no presente estudo.

Infelizmente não foi possível realizar análises de SV e ST separadamente em cada rodada, para verificação específica da degradação por rodada, o que poderia fornecer resultados mais consistentes do que a média geral apresentada.

Segundo MATA-ALVAREZ (2003), a capacidade de degradação da matéria orgânica é maior quanto menor o percentual de ST, pois as bactérias em meio mais diluído conseguem consumir a matéria orgânica quase por completo. Devido à ausência de um sistema de mistura pode acontecer o acúmulo de sólidos no fundo do biodigestor, prejudicando a relação entre a bactéria e a matéria orgânica, pois o amontoamento de matéria orgânica não permite que a degradação ocorra por completo, ainda mais com o elevado teor de ST do material afluente, 7,5%, em comparação ao recomendado para biodigestores sem ou com pouca mistura, onde indica-se um valor máximo de 3% de ST (CIBIOGAS, 2015).

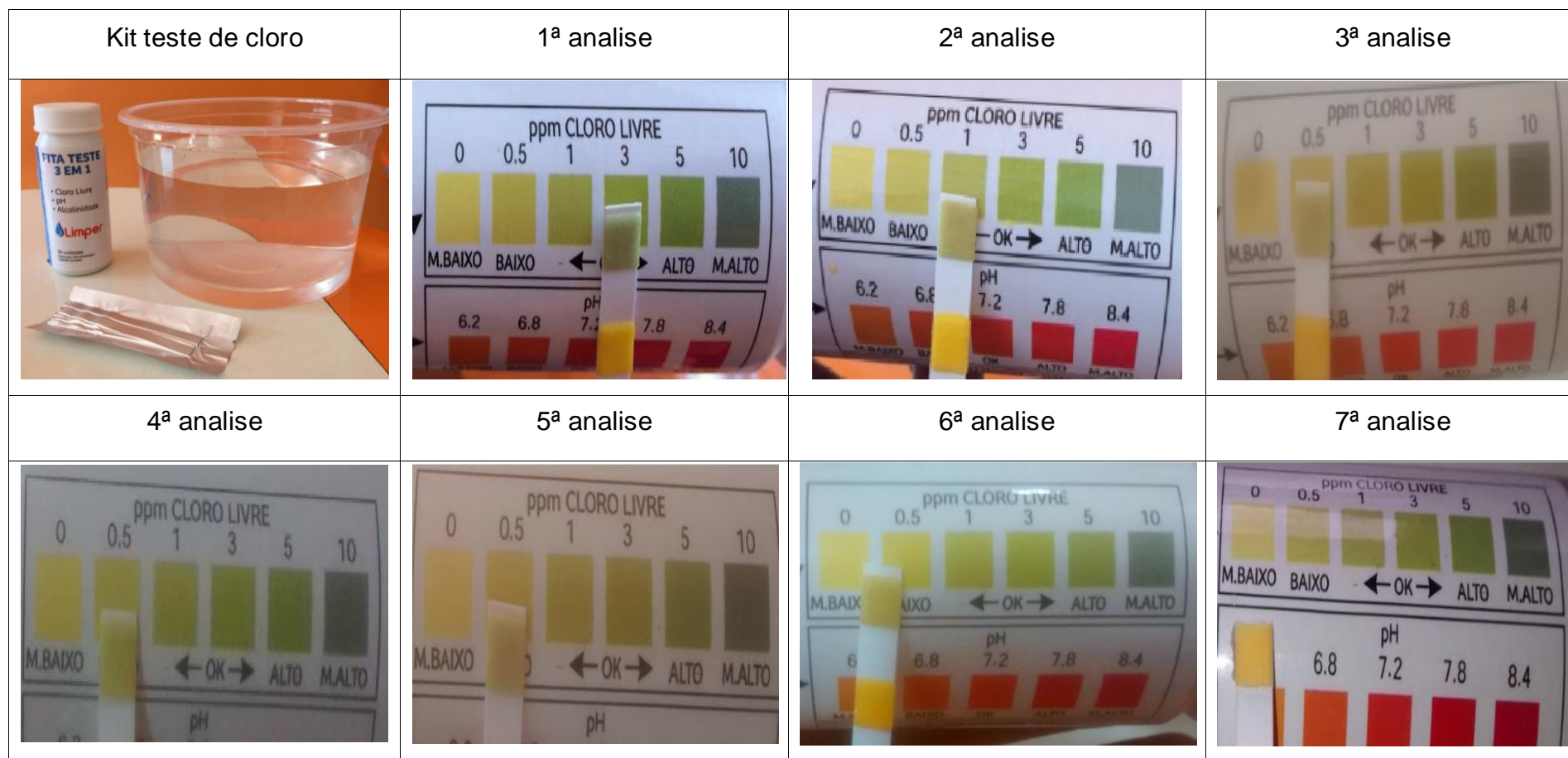
Segundo ANGELIDAKI et al. (2006), o volume máximo específico de metano atingiu 0,41 m³/kgvs com teores de 1,5 - 3,0% de ST. Por outro lado, obtinha-se de 63 – 83% desse volume quando eram utilizados de 4,5 - 9 % de ST, percebendo-se que quanto menor a quantidade de sólidos totais presentes, maior a taxa de produção de metano. Quando se atingia uma taxa de ST de 30% a produção de metano era inibida.

Assim, considerando-se os inúmeros episódios de desestabilização do biodigestor no presente estudo, a exceção da rodada 4, foram observados baixa produção de biogás e conseqüente diminuição da degradação do efluente gerado, o que pode ser em parte explicado pelo alto teor de ST utilizado.

5.3.4 Influência do cloro no processo de DA

Após 7 dias de análises como pode ser visto na tabela 6, observa-se que o teor de cloro foi reduzido de 3 ppm para 0,0 ppm, validando a metodologia utilizada no presente trabalho.

Figura 19: Análises de cloro



Fonte: Próprio autor, (2017).

Outra possibilidade para remoção do cloro seria a utilização da solução de Hipossulfito de Sódio e água (anti cloro), produto de baixo custo em média R\$ 5,00 (cinco reais), e fácil aplicação, bastando-se adicionar 1 gota do produto por L de água da torneira para atingir 0 ppm de Cl, como dito em (PEIXE BELLO, 2017).

6 CONCLUSÕES

A maior produção de biogás foi na 4ª rodada no período de 3 de novembro de 2016 até 11 de janeiro de 2017, com 0,69 L/g SV/dia, aconteceu entre a primavera e o verão, com temperatura média de 26.4°C e COV de 0,5 g SV/L/dia.

Pode ser sugerido que nos meses de outono e inverno a COV máxima seria de 0,3 g SV/L/dia e espera-se uma produção de biogás 60% menor que nos meses mais quentes. Já as COV's próximas a 1 g SV/L/dia são inadequadas para o tipo de biodigestor utilizado em conjunto com os demais parâmetros operacionais utilizados, mesmo nos meses de verão.

O teor de ST do afluente, que foi 7,5%, mostrou-se adequado somente em conjunto com os demais parâmetros operacionais apresentados na 4ª rodada, principalmente em temperaturas de verão, sendo inadequado para operação em épocas mais frias ou com as COV's maiores.

A metodologia de remoção de cloro via repouso de água mostrou-se adequada para os propósitos deste experimento.

Levando em consideração que a metodologia de armazenamento do resíduo pós-triturado não foi adequada devido aos episódios de acidificação observados, fazendo-se necessário triturações a cada aporte.

O uso da barrilha mostrou-se uma estratégia adequada tecnicamente e de baixo custo para estabilização do pH de digestores anaeróbicos de câmara única.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – NBR 10.004 Associação Brasileira de Normas e Técnicas, 1987
- ABRELPE, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais Panorama dos resíduos sólidos no Brasil, 2015. Disponível em <<http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>> Acesso em: 22 ago. 2017.
- ACCUWEATHER, 2017. Disponível em: <<https://www.accuweather.com/pt/br/brazil-weather>> Acessado em: 10 de Setembro de 2017.
- ACHMAD K., YULI A., DIMAS F., OKI I. The effect of C/N ratios of a mixture of beefcattle and water hyacinth (*Eichorniacrassipes*) on the quality of biogás and sludge. *Lucrări Științifice*. Vol, 55. p. 117 – 120, 2016.
- ALCOBIA, Susana, 2016. Como montar um aquário. Disponível: <<http://www.revistaafemfoco.com.br/seja-bem-vindo-ao-fascinante-mundo-da-aquariofilia>> Acessado em: 10 de Setembro de 2017.
- AMORIM, A. C.; JÚNIOR, J. L.; RESENDE, K.T. (2004) Biodigestão Anaeróbia De Dejetos De Caprinos Obtidos Nas Diferentes Estações Do Ano. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, V.24, N.1, P.16-24, Jan./Abr. 2004.
- APHA . Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20a ed. Washington, D. C.: American Public Health Association. 2005.
- AQUINO, S. F. E; CHERNICHARO, C. A. L. Acúmulo de ácidos graxos voláteis (AGVs) em reatores anaeróbios sob estresse: causas e estratégias de controle. *Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental*. V. 10, n. 2, , p. 152 – 161. 2005.

- BIOTECH, Renewable Energy. Disponível:< <http://www.biotech-india.org/index.aspx>> Acessado em: 22 de Agosto de 2017.
- BISCHOFBERGER, W.; DICHTL, N.; ROSENWINKEL, K.-H.;SEYFRIED, C. F.; BOHNKE, B. Anaerobtechnik. Berlin. Heidelberg: Springer- Verlag, 718 p., 2005.
- BOUALLAGUI, H.; BEM CHEIKH, R.; MAROUANI, L.; HAMDIM, M. Mesophilic biogás production from fruit and vegetable waste in a tubular digester. Bioresource Technology, Tunis, v.86, n.1, p. 85-89, 2003.
- CHERNICHARO, C. A. L. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios. 2.ed. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 2007. v.5, 379p.
- CIBiogás, Centro Internacional de Energias Renováveis; Foz do Iguaçu – PR(2016)
- DEGANUTTI, R., PALHACI, M., ROSSI., TAVARES, R., SANTOS, R., 2002. Biodigestores rurais: modelo indiano e chinês e batelada.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (1998) – Centro de Pesquisas Agroflorestral da Amazônia Ocidental, CPAA. CARDOSO, M. O.; RIBEIRO, G. de A. Folder; COMPOSTO ORGÂNICO: Uso no cultivo de hortaliças. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/668416/composto-organico-uso-no-cultivo-de-hortalicas>> Acesso em: 26 de Julho de 2017.
- FDÉZ.- GUELFO, L., A., ÁLVAREZ – GALLEGO, C., SALES MÁRQUEZ, D., et al., “New indirect parameters for interpreting a destabilization episode in an anaerobic reactor. Chemical Engineering Journal, v. 180, p. 32-38, 2012.

- FELIZOLA, Cristina de Souza; LEITE, Valderi Duarte; PRASAD, Shiva. Estudo Doprocesso De Digestão Anaeróbia De Resíduos Sólidos Orgânicos E Aproveitamento Do Biogás. *Agropecuária Técnica*, V. 27, N. 1,P. 53-62, 2006.
- FERRAZ, Amarildo. (Dr. Prof. No curso de Engenharia Ambiental da UniFOA). Opções de alcalinizantes de baixo custo como estabilizador de pH. Em conversa com: Kemeli Paiva e Vivianne Oliveira.(Discentes do Curso de Engenharia Ambiental da UniFOA). 2017.
- FERREIRA, E. M.; CRUVINEL, K. A. S.; COSTA, E. S. Disposição final dos resíduos sólidos urbanos: diagnóstico da gestão do município de Santo Antônio de Goiás. *Revista Monografias Ambientais*, Santa Maria, vol. 14, n. 3, p. 3401-3411, mai-ago. 2014.
- GOMES, T., SILVA J., SILVA M., PREPARO DE COMPOSTO ORGÂNICO NA PEQUENA PROPRIEDADE RURAL, 2001.
- GUIÃO, R.S.L., JR.; MAHLER, C.F.; FERRAZ, A.; DIAS, A.C.; SANTOS, V., Evaluation of new practices of decentralized composting of organic household waste in developing countries. In: Fourteenth International waste management and landfill symposium, 14 Anais. Italy: CISA Publisher, 2015.
- HOME BIOGAS. Disponível em:< <https://homebiogas.com/>>Acessado em: 10 de Junho de 2017.
- I. Angelidaki, X. Chen, J. Cui, P. Kaparaju and L. Elle- gaard, “Thermophilic Anaerobic Digestion of Source- Sorted Organic Fraction of Household Municipal Solid Waste: Start-Up Procedure for Continuously Stirred Tank Reactor,” *Water Research*, Vol. 40, No. 14, 2006, pp. 2621-2628.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Estatística e Geografia. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2010. Disponível em

- <<http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/imprensa/ppts/0000000105.pdf>> Acesso em: 15 jun. 2017.
- JACOBI & BESEN, 2011. Coleta Seletiva, Política Nacional de Resíduos Sólidos.
- JEIHANIPOUR, A.; ASLANZADEH, S.; RAJENDRAN, K.; BALASUBRAMANIAN, G.; TAHERZADEH, M. J. High-rate biogas production from waste textiles using a twostage process. *Renewable Energy*, v. 52, p. 128-135, 2013.
- Lebuhn, M; Bauer, C; Gronauer, A.; Probleme der Biogasproduktion aus nachwachsenden Rohstoffen im Langzeitbetrieb und molekularbiologische Analytik. *VDLUFA-Schftrenreihe* 64, 2008, S 118-125.
- Lei Nacional nº 12.305, Resíduos Sólidos, 2010
- LIMA, M. C. S. Alternativa de tratamento biológico de resíduos líquidos de elevada carga poluidora. Campina Grande – PB, Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, UFPB/UEPB, 2002. Dissertação de mestrado, 72 p.
- LUNA, M.L.D. de Tratamento anaeróbico de resíduos sólidos orgânicos para pequenas comunidades. 2003. 53f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – UFPB/UEPB/PRODEMA, Campina Grande.
- MACHADO, A. G. B., 2013. Biodigestão Anaeróbia. Fatores que influem na produção de biogás. Disponível em: <<http://www.portaldobiogas.com/biodigestao-anaerobia/>> Acessado em: 20 de Outubro de 2017.

- MALAJOVICH, M. A.. (2017) Guias de atividades. Guia 22; Biotecnologia: ensino e divulgação. Biodegradação: Como montar uma coluna de compostagem. Disponível em: < <http://www.bteduc.bio.br>> Acesso em: 30 de Outubro de 2017.
- MATA-ALVAREZ, J., 2003, Biomethanization of the Organic Fraction of
- METZ, H. L. (2013), Construção De Um Biodigestor Caseiro para Demonstração De Produção De Biogás E Biofertilizante Em Escolas Situadas Em Meios Urbanos. Lavras – MG.
- PEIXE BELLO, 2017. Disponível em: < <https://peixebello.loja2.com.br/6936644-anticloro-1-litro-1-gota-por-litro-ate-20-mil-litros-eliminar-cloro-ativo>> Acessado em: 20 de Outubro de 2017.
- PNRs, 2010. Política Nacional De Resíduos Sólidos.
- PREFEITURA DE VOLTA REDONDA, 2017. Disponível em: <<http://www.voltaredonda.rj.gov.br/cidade/clima.php>> Acesso em: 15 de Setembro de 2017.
- PROBIOGÁS, 2013. Guia Prático do Biogás Geração e Utilização. Disponível em: <<http://www.biogasportal.info>>. Acesso em 30 de Março de 2017.
- PROBIOGÁS, 2015. Guia Técnico de Aproveitamento Energético de Biogás em Estações de Tratamento de Esgoto. Disponível em: < <https://www.giz.de/en/downloads/probiogas-guia-etes.pdf>> Acesso em: 25 de Setembro de 2017.
- Rajendran K, Balasubramanian G. High rate biogas production from waste textiles. Borås: School of Engineering, University of Borås; 2011


- RAJENDRAN, K., ASLANZADEH, S., JOHANSSON, F., et al., “Experimental and economical evaluation of a novel biogas digester”. *Energy Conversion and Management*, v.74, pp. 183–191, 2013.
- REIS, Alexandro dos Santos. *Tratamento de resíduos sólidos orgânicos em biodigestor anaeróbio*/Alexandro dos Santos Reis. Recife: O autor, 2012
- RIZZONI, 2012. *Anaerobic Digestion To Treat Swine Manure*.
- SILVA, Wellington Neves, 2009. *Estudo da cinética do processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos vegetais*. Tese de Doutorado. João Pessoa – PB, Brasil.
- SILVA, C. O.; CEZAR, V. R. S.; SANTOS, M. B.; SANTOS, A. S.. *Biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovino caprino, manipueira e biofertilizante*. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã*, v.4, n.1, p.88, 103, 2013.
- SOUZA, C. F.; JÚNIOR, J. L.; FERREIRA, W. P. M. (2005). *Biodigestão Anaeróbia De Dejetos De Suínos Sob Efeito De Três Temperaturas E Dois Níveis De Agitação Do Substrato - Considerações Sobre A Partida*. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, v.25, n.2, p.530-539, maio/ago. 2005
- SOUZA, Cecília; JÚNIOR, Jorge; FERREIRA, Williams; SOUZA; 2002. *Biodigestão Anaeróbia De Dejetos De Suínos Sob Efeito De Três Temperaturas E Dois Níveis De Agitação Do Substrato - Considerações Sobre a Partida*. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n2/26516.pdf>> Acessado em: 20 de Setembro de 2017.

- STEINMETZ, R., KUNZ, A., SOARES, H., AMARAL, A., MOTA, S., 2014. Avaliação da Produção de Biogás de Resíduos de incubatório de ovos – Seminário Brasileiro de Gestão Ambiental na Agricultura.
- TANIMU M., TINIA I., RAZIF M., e AZNI I. Effect of Carbon to Nitrogen Ratio of FoodWaste on Biogas Methane Production in a Batch Mesophilic Anaerobic Digester. International Journal of Innovation, Management and Technology. Vol. 5, No. 2. P 116 – 119,2014.
- TERESA FREITAS conheceu profissões do futuro! Confira. TV Rio Sul, Rio Sul Revista. Publicado em: 29 de Abril de 2017. Disponível em: <<https://gshow.globo.com/TV-Rio-Sul/Rio-Sul-Revista/noticia/teresa-freitas-conheceu-profissoes-do-futuro-confira.ghtml>> Acessado em: 20 de Julho de 2017.
- TRENTIN Patricia S., et al. BOSTELMANN Eleine, 2010. Análise de Águas & Efluentes. Disponível:<http://www.c2o.pro.br/analise_agua/a1833.html> Acessado em: 12 de Maio de 2017.
- VDI 4630, Anaerobic Digestion Guide - Fermentation of organic materials, Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data and fermentation tests. VereinDeutscherIngenieure, Dusseldorf, Alemanha, 2006.
- Weiland, P.: Grundlagen der Methangährung – Biologie und Substrate; VDI-Berichte; Nr. 1620 “Biogas als regenerative Energie-Stand und Perspektiven”. 2001.

8 APÊNDICE

Um dos objetivos do projeto em questão é a avaliação do efluente gerado para utilização como fertilizante agrícola, contudo as análises laboratoriais referentes à caracterização do biofertilizante não atendeu ao prazo de entrega desse projeto. Mediante isso, pretende-se publicar os resultados obtidos posteriormente em projetos futuros. Abaixo é apresentada a ficha de requerimento para análises de amostras.

FORM CAD 07 REV. 09

		FICHA PARA ENVIO DE AMOSTRAS			
1- DADOS DO SOLICITANTE (RESPONSÁVEL PELO ENVIO)					
EMPRESA	Fundação Osvaldo Aranha				
RESPONSÁVEL	Roberto Guião / Kemeli Paiva	DATA			
JÁ POSSUI CADASTRO?	<input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não	OS			
ORÇAMENTO N° (Preencher com o número do orçamento aprovado)	000336/2017.1				
ENDEREÇO	Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, 1325		CEP	27.240.560	
BAIRRO	Três Poços	MUNICÍPIO	VR	UF	RJ
CPF / CNPJ	32.504.995/0001-14		DATA NASCTO		
E-MAIL	kemelydepaiva@hotmail.com		TELEFONE	(24) 999479308 / 999761809	
2- DADOS DAS AMOSTRAS (NOME DO PRODUTOR, CASO EXISTA)					
INTERESSADO	Roberto Guião				
PROPRIEDADE	Roberto Guião				
MUNICÍPIO	Volta Redonda	LOCALIDADE			
LOCALIDADE	Barreira Cravo			UF	RJ
QDE. DE AMOSTRAS	3 (repetições)				
INFORMAÇÕES COMPLEMENTARES:					
3 - TIPO DE AMOSTRA					
<input type="checkbox"/> SOLO	<input type="checkbox"/> TECIDO FOLIAR	<input type="checkbox"/> NUTRIÇÃO ANIMAL	<input type="checkbox"/> CORRETIVO		
<input type="checkbox"/> NEMATÓIDE	<input type="checkbox"/> ÁGUA	<input checked="" type="checkbox"/> FERTILIZ. ORGÂNICO	<input type="checkbox"/> FERTILIZ. ORGANOMINERAL		
<input type="checkbox"/> FERT. MINERAL	<input type="checkbox"/> VIA SOLO	<input type="checkbox"/> VIA FOLIAR	<input type="checkbox"/> OUTRAS (DESCREVER ABAIXO)		
4 - TIPO DE ANÁLISE (CASO NÃO TENHA O NOME, FAVOR DESCREVER SUA SOLICITAÇÃO)					
Análise Completa + (CTC, CRA, Corg, Cl, CE, pH, Dens) (Via Solo), Cloro (Água) (Mohr), Cálcio (HNO ₃ + HClO ₄) Espectrométrico por Absorção Atômica, Carbono Orgânico (Volumétrico do Dicromato de Potássio), Magnésio (HNO ₃ + HClO ₄) (Espectrométrico por Absorção Atômica), Cobalto (HNO ₃ + HClO ₄) (Espectrométrico por Absorção Atômica), Cobre (HNO ₃ + HClO ₄) (Espectrométrico por Absorção Atômica), Ferro (HNO ₃ + HClO ₄) (Espectrométrico por Absorção Atômica), Manganês (HNO ₃ + HClO ₄) (Espectrométrico por Absorção Atômica), Potássio (HNO ₃ + HClO ₄) (Espectrométrico por Emissão), Zinco (HNO ₃ + HClO ₄) (Espectrométrico por Absorção Atômica), Fósforo Total (Gravimétrico do Quimociac), Boro (Espectrofotométrico da Azometina-H), Enxofre (Gravimétrico do Sulfato de Bário), Nitrogênio (Macrométodo da Liga de Raney).					
5 - RECOMENDAÇÃO AGRONÔMICA (SOMENTE PARA AMOSTRAS DE SOLO)					
DESEJA RECEBER SERVIÇO DE RECOMENDAÇÃO AGRONÔMICA? (Serviço Cobrado à Parte) <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não					
SELECIONE O TIPO DE RECOMENDAÇÃO <input type="checkbox"/> Plantio <input type="checkbox"/> Produção / Manutenção					
QUAIS AMOSTRAS?					
CULTURA:			PROFUNDIDADE:		
CULTURA ANTERIOR:					
6 - DADOS PARA COBRANÇA / NOTA FISCAL					
EFETUOU O PAGAMENTO DOS SERVIÇOS? <input type="checkbox"/> Sim <input checked="" type="checkbox"/> Não					
* Caso não tenha efetuado o pagamento, por gentileza preencher os campos abaixo com os dados para cobrança.					
** Caso tenha efetuado o pagamento e pretenda receber a nota fiscal, por gentileza preencher os campos abaixo com os dados para emissão da nota fiscal. Enviar a cópia do comprovante de pagamento junto com as amostras.					
NOME	Fundação Osvaldo Aranha				
ENDEREÇO	Av. Paulo Erlei Alves Abrantes, 1325		CEP	27.240.560	
BAIRRO	Três Poços	CIDADE	Volta Redonda	UF	RJ
CPF/CNPJ	32.504.995/0001-14		DATA NASCTO.		
TELEFONE	(24) 33408400	CELULAR	(24) 999479308 / 999761809		
EMAIL	mariangela.schetino@foa.org	INSC. ESTADUAL	Isento		
7 - OBSERVAÇÕES					

O IBRA tem o compromisso de atender seus clientes com eficiência e agilidade, para tanto, faz-se indispensável o preenchimento desta ficha de faturamento para que seus dados sejam administrados da melhor forma. O preenchimento incorreto da ficha poderá acarretar atraso na liberação de resultados. A amostra ficará armazenada por 60 (sessenta) dias. Para qualquer alteração de dados, preencher e enviar novamente esta ficha ou entrar em contato através do e-mail atendimento@ibra.com.br ou Tel/fax: (19) 3832-3679