

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

LUIZ PRADO FALCÃO

AValiação PRELIMINAR TEÓRICA E PRÁTICA DO USO DE BIODIGESTORES
RESIDENCIAIS EM CURITIBA.

CURITIBA
2018



LUIZ PRADO FALCÃO

AVALIAÇÃO PRELIMINAR TEÓRICA E PRÁTICA DO USO DE BIODIGESTORES
RESIDENCIAIS EM CURITIBA.

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito parcial à obtenção do grau de Engenheiro Ambiental, do Departamento de Engenharia Ambiental, do Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Marcelo Errera

CURITIBA

2018




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL

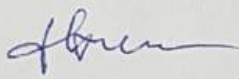
LUIZ PRADO FALCÃO

AVALIAÇÃO PRELIMINAR E PRÁTICA DO USO DE BIODIGESTORES RESIDÊNCIAIS EM CURITIBA.

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 7,5, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): 

Marcelo Risso Errera
Departamento de Engenharia Ambiental / UFPR

Membro 1: 

George Stanesco
Departamento de Engenharia Mecânica / UFPR

Membro 2: 

Fernando Bóçon
Departamento de Engenharia Mecânica / UFPR

Curitiba, 02 de Julho de 2018

A minha mãe, que sempre incentivou os meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe Iliane Quirino do Prado e ao meu pai Ivan Azevedo Falcão, por terem me proporcionado a vida e por terem me mostrado e ensinado que não há barreiras para os nossos sonhos.

À minha irmã Danila Prado Falcão, pelos conselhos e apoio durante todo o meu curso de Engenharia Ambiental.

À toda a minha família e principalmente aos meus avós, por sempre estarem ao meu lado me incentivando mesmo nas horas ausentes.

À minha namorada Beatriz Arnold, por todo o carinho, amor e encorajamento nas horas de maiores dificuldades.

Aos meus amigos, por todos os momentos de felicidade e de dificuldade durante os anos na universidade.

Ao meu país, pela oportunidade de estudar em uma das melhores universidades do Brasil, a Universidade Federal do Paraná e pela oportunidade de ter estudado em uma das melhores universidades do mundo, the Queensland University of Technology.

E a Deus, que me ilumina e me orienta para os caminhos do bem e do amor.

“Seja a mudança que você quer ver no mundo.”

Mahatma Gandhi

RESUMO

Este trabalho apresenta uma breve explanação teórica sobre a biodigestão anaeróbia e como o tema vem sendo tratado e desenvolvido no Brasil e no mundo. Traz um estudo de caso da operação de um biodigestor residencial demonstrando a viabilidade de uso do mesmo e faz projeções das mudanças econômicas, ambientais e energéticas com a inserção de biodigestores residenciais na cidade de Curitiba. Neste trabalho é mostrado todo o processo de amostragem de um modelo de biodigestor residencial de 2m³ de volume e apresentado o seu investimento, retorno do investimento e projeções de geração em sua capacidade máxima. Também são apontadas projeções no caso do uso destes biodigestores por 4% da população de Curitiba, o equivalente a 68500 pessoas. Foi possível observar que através do uso de biodigestores por esta parcela da população, aproximadamente 20,5 toneladas de resíduos orgânicos não seriam mais destinadas a aterros sanitários por dia e aproximadamente 1471 toneladas de gás metano não seria lançadas para atmosfera no período de um ano. Com as projeções realizadas é mostrados os benefícios para os usuários, para a sociedade como um todo e para o meio ambiente em termos de segurança energética, geração de energia limpa, destinação adequada de resíduos orgânicos e mitigação do aquecimento global.

Palavras chave: Biodigestor residencial, Biogás, Engenharia Ambiental

ABSTRACT

This work presents a brief theoretical explanation about anaerobic digestion and how the theme has been treated and developed in Brazil and in the World. It presents a case study of the operation of a residential biodigester demonstrating the feasibility of using it and makes projections for economic, environmental and energetic changes with the introduction of residential biodigesters in the city of Curitiba. In this project, it is presented the whole montage process of a 2m³ volume biodigester model, its investment, the payback of the system and the generation projections at maximum capacity. Projections are pointed in the case of the use of these biodigesters by 3,96% of the city population, equivalent to 68500 people. It was possible to observe that with the use of biodigesters by these percentage of the population approximately 20,5 tons of organic residues would be avoided to sanitary landfills per day and around 1471 tons of methane emissions would be avoided to the atmosphere per year. With these projections are presented the benefits to the users, to the society as a whole and to the environment in terms of energy security, generation of clean energy, adequate disposal of organic waste and mitigation of global warming.

Keyword: Residential Biodigestors, Biogas, Environmental Engineering

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	OBJETIVOS GERAIS.....	2
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1.1	Microbiologia e bioquímica na digestão anaeróbia.....	3
2.1.1.1	Digestão Anaeróbia.....	3
2.1.1.1.1	Hidrólise.....	4
2.1.1.1.2	Acidogênese.....	4
2.1.1.1.3	Acetogênese.....	5
2.1.1.1.4	Metanogênese.....	5
2.1.1.2	Parâmetros que Influenciam a Digestão Anaeróbia.....	6
2.1.1.2.1	Temperatura.....	7
2.1.1.2.2	Quantidade de matéria seca.....	8
2.1.1.2.3	pH e Acidez.....	9
2.1.1.2.4	Ácidos Graxos Voláteis.....	10
2.1.1.2.5	Macro e micronutrientes.....	11
2.1.1.2.6	Relação C/N e C/P.....	12
2.1.1.3	Substratos para a Biodigestão Anaeróbia.....	13
2.1.2	O Biogás.....	14
2.1.2.1	Características do biogás.....	15
2.1.2.2	Poder calorífico do Biogás.....	16
2.1.2.3	Purificação do Biogás.....	17
2.1.2.3.1	Desumidificação do Biogás.....	18
2.1.2.3.2	Remoção do gás sulfídrico por óxido férrico.....	19
2.1.2.3.3	Remoção do gás carbônico.....	20
2.1.2.4	Uso e distribuição do biogás.....	21
2.1.2.4.1	Uso térmico.....	22
2.1.2.4.2	Produção combinada de calor e energia.....	22
2.1.2.4.3	Combustível de veículos.....	22
2.2	ESTADO DA ARTE.....	23
2.2.1	Panorama do biogás no Mundo.....	23

2.2.2	Panorama do biogás no Brasil.....	24
2.2.3	Biodigestores.....	25
3	MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1	PARTE 1.....	27
3.1.1	Área de estudo.....	28
3.1.2	Dados do Biodigestor.....	29
3.1.2.1	Local do estudo.....	30
3.1.2.2	Condições do Biodigestor.....	31
3.1.2	Experiência operacional.....	32
3.1.2.1	Montagem do reator.....	33
3.1.2.2	Montagem do filtro do biogás.....	34
3.1.2.3	Operação do sistema.....	35
3.1.2.3.1	Procedimentos criados para a operação.....	36
3.1.2.3.2	Acúmulo e moagem dos resíduos.....	37
3.1.2.3.3	Inserção dos resíduos no sistema.....	38
3.1.3	Geração e coleta de dados.....	39
3.1.3.1	Resíduos Orgânicos.....	40
3.1.3.2	Pesagem dos resíduos.....	41
3.1.3.3	Sensor de temperatura.....	42
3.1.3.4	Certificação de não geração de odor.....	43
3.1.3.5	Descrição do funcionamento do sistema.....	44
3.1.4	Projeção do sistema doméstico de biogás.....	45
3.1.4.1	Projeção de geração de biogás e biofertilizante	46
3.1.6	Investimento e retorno financeiro.....	47
3.1.6.1	Investimento financeiro.....	48
3.1.6.2	Retorno do investimento.....	49
3.1.6.3	Linhas de financiamento.....	50
3.2	PARTE 2.....	51
3.2.1	Projeções econômicas, energéticas e ambientais para Curitiba.....	52
3.2.1.1	Projeção de um cenário de uso do biodigestor.....	53
3.2.1.2	Projeção de emissões de metano não lançadas para a atmosfera com o uso do biodigestor residencial no cenário abordado.....	54

3.2.1.3	Projeção econômica de redução de custos com a destinação de resíduos.....	55
3.2.1.4	Redução de resíduos para aterros e transporte de resíduos.....	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	57
4.1	Temperatura do reator.....	58
4.2	Geração de resíduos orgânicos em uma residência de duas pessoas.....	59
4.3	Projeção de geração do reator na sua capacidade máxima.....	60
4.4	Retorno do investimento.....	61
4.5	Projeção de geração do cenário de tratamento <i>in loco</i> para condomínios e casas de vila.....	62
4.6	Redução de resíduos destinados para aterros e transporte.....	63
4.7	Redução nos custos com a destinação dos resíduos.....	64
5	CONCLUSÃO.....	65
6	REFERÊNCIAS.....	66

1 INTRODUÇÃO

Os produtos vegetais têm sido usados pelo homem como fonte energética para os mais diversos fins. Inicialmente para aquecimento e cozimento de alimentos e depois para construções e geração de vapor nas indústrias. Hoje os produtos derivados de biomassa, graças a tratamentos químicos e bioquímicos são muito sofisticados, representam os insumos industriais de um grande número de processos.

A biomassa vegetal se constitui na fonte energética potencialmente mais interessante pela grande variedade de alternativas. Acredita-se que as culturas energético-vegetais terminarão por substituir uma parte considerável dos combustíveis fósseis ainda no século XXI (MOTTA, Fernando 1986).

Globalmente os esforços estão em andamento para reduzir a demanda de energia e diversificar a geração de energia com uma variedade de fontes renováveis em diferentes escalas. É imperativo que países, empresas e indivíduos comecem a economizar energia, usem menos e mudem para fontes renováveis a fim de reduzir as concentrações de CO₂ e a também a dependência pelos combustíveis fósseis.

A produção do biogás energia distribuída de microescala usando fontes renováveis, que tem potencial para fornecer eletricidade neutra em carbono, envolve geração no ponto de uso e promove uma série de benefícios. Dentre eles, promove a redução de perdas de energia na transmissão e distribuição, promove também educação dos usuários com relação a separação dos resíduos e valorização dos mesmos, oferece diversidade de combustível ocasionando segurança de fornecimento e também reduz a necessidade de investimentos em sistemas de distribuição e transmissão. Uma vez que a maioria da população mundial vive em áreas urbanas, a implementação de microgeração para casas e prédios urbanos tem o potencial de contribuir significativamente para suprir a demanda energética das cidades.

O presente trabalho apresenta a experiência de uso de um biodigestor residencial na cidade de Curitiba e uma projeção do que seria se condomínios e residências aderissem a prática de produção de energia renovável para

aquecimento de água em suas casas e quais seriam os impactos econômicos, sociais e ambientais.

1.1 OBJETIVOS GERAIS

Demonstrar a viabilidade do uso de biodigestores residenciais em áreas urbanas e fazer uma projeção dos impactos econômicos, sociais e ambientais em um cenário com adesão ao sistema por uma parte da população de Curitiba.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a operação do uso de um biodigestor de escala doméstica.
- Fazer projeções econômicas do uso de biodigestores para condomínios e casas de vilas.
- Fazer projeções ambientais dos benefícios de se ter sistemas de tratamento de resíduos descentralizados pela cidade com aproveitamento energético.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1.1 Microbiologia e Bioquímica na Digestão Anaeróbia

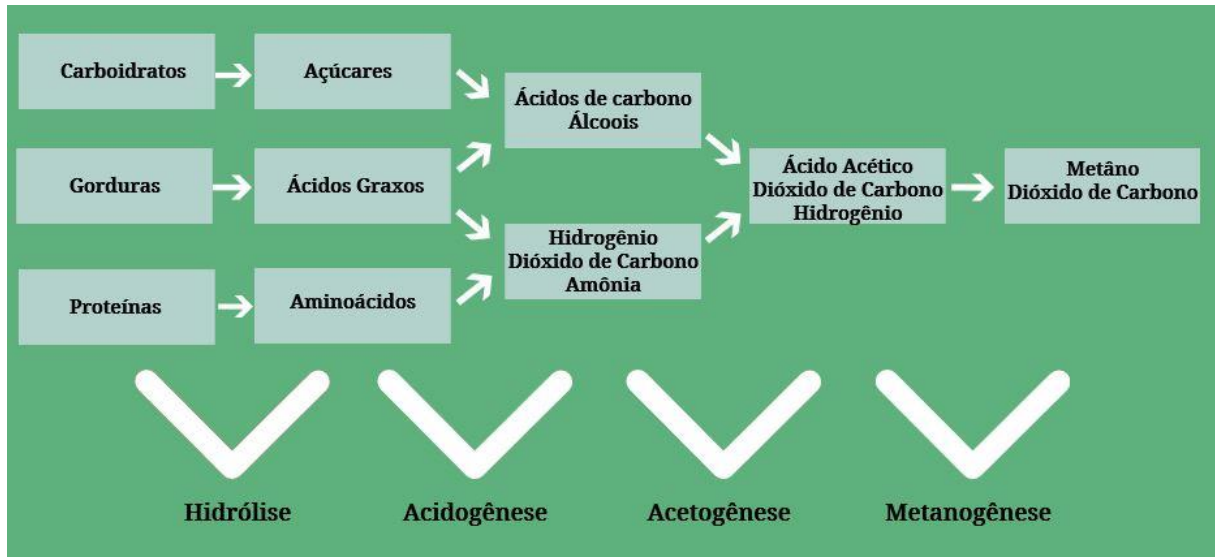
2.1.1.1 Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é um processo microbiológico da decomposição da matéria orgânica que ocorre quando são providas condições ideais para as bactérias anaeróbias se desenvolverem e se manterem ativas, condição primordial essa que se dá pela ausência do oxigênio. Tratando-se de uma cultura de microrganismos, as condições de sobrevivência dos mesmos às vezes são muito críticas. Apenas quando a população está ativa e em processo de reprodução tem-se uma produção constante de gás. Para ter uma compreensão mais ampla do que ocorre no ambiente anaeróbico, é importante conhecer o que se passa no microcosmo das bactérias metanogênicas que serão vistas nos próximos itens. A equação da digestão anaeróbica pode ser expressa pela equação (1) abaixo (Al Seadi, T. 2001).



O processo de formação do biogás é o resultado de alguns processos relacionados, nos quais a matéria orgânica inicial é continuamente quebrada em partes menores. Alguns grupos específicos de micro-organismos estão envolvidos, os quais tem seus papéis individuais na decomposição. Esses micro-organismos decompõem sucessivamente o produto do processo anterior. Abaixo na FIGURA 1 podemos ver um simples diagrama do processo da decomposição anaeróbica. Estão destacados os quatro principais processos da digestão anaeróbia: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

FIGURA 1 - DIAGRAMA DO PROCESSO DA DECOMPOSIÇÃO ANAERÓBIA



FONTE: (O autor deste documento).

2.1.1.2 Hidrólise

A hidrólise é o primeiro estágio da digestão anaeróbia, nesta etapa do processo os polímeros são decompostos em compostos orgânicos menores e mais simples. Durante a hidrólise, polímeros como carboidratos, lipídios, ácidos nucleicos e proteínas são convertidos em glicose, glicerinas, purinas e pirimidinas. Este processo é facilitado por bactérias anaeróbias e facultativas. Os microrganismos hidrolíticos excretam enzimas hidrolíticas, convertendo biopolímeros em compostos mais simples.

Uma variedade de micro-organismos são envolvidos no processo da hidrólise, o qual é realizado por exoenzimas, produzida por aqueles micro-organismos os quais decompõem materiais particulados não dissolvidos. O produto resultado da hidrólise é mais tarde decomposto por microrganismos envolvidos utilizados para seus próprios processos metabólicos (Al Seadi, T. 2008).

2.1.1.3 Acidogênese

Na acidogênese os produtos solúveis provenientes da hidrólise são metabolizados no interior das células das bactérias fermentativas, sendo convertidos em diversos

compostos mais simples, os quais são excretados pelas células. Os compostos produzidos incluem amônia, sulfeto de hidrogênio, gás carbônico, hidrogênio, ácidos graxos voláteis, álcoois e ácido lático, além de novas células bacterianas (Siqueira, 2018). O principal produto dos organismos fermentativos são os ácidos graxos voláteis, os quais são frequentemente denominados de bactérias fermentativas acidogênicas. A acidogênese é realizada por um amplo grupo de bactérias fermentativas. A maioria dessas bactérias são rigorosamente anaeróbias, no entanto 1% compõe-se de bactérias facultativas que podem oxidar o substrato orgânico por via oxidativa. Este fato é importante sendo que as bactérias estritas são protegidas contra o contato com o oxigênio presente no meio (VAN HAANDEL, A.C., LETTINGA, G. 1994).

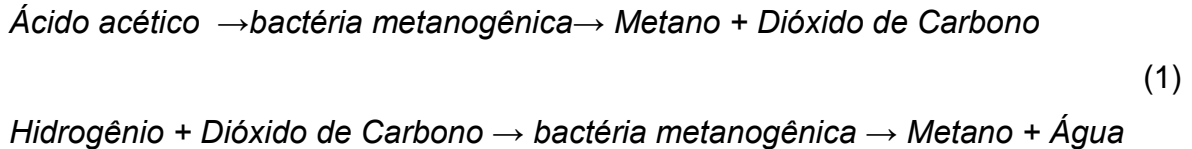
2.1.1.4 Acetogênese

Depois da acidogênese, os produtos gerados pela mesma que não podem ser transformados em metano pelas bactérias metanogênicas são oxidados pelas bactérias acetogênicas. Com isso, as bactérias acetogênicas são parte do grupo metabólico intermediário que gera o substrato para as metanogênicas. As bactérias acetogênicas são responsáveis por gerar os produtos: hidrogênio, dióxido de carbono e o acetato. Uma grande quantidade de hidrogênio é produzida durante a formação dos ácidos acético e propiônico, isso causa um decaimento no valor do pH do meio aquoso onde a reação acontece. Durante a metanogênese, o hidrogênio é convertido em metano. A acetogênese e metanogênese geralmente acontecem em paralelo, como exemplo da simbiose entre dois grupos de organismos (Al Seadi, et al. 2008).

2.1.1.5 Metanogênese

O metano e o dióxido de carbono são gerados pela bactéria metanogênica. Destes, 30% é produzido através da conversão do hidrogênio (H) e dióxido de carbono (CO₂), enquanto os 70% restantes são advindos do acetato, de acordo com as equações (1), As metanogênicas são divididas em dois grupos principais, as

bactérias utilizadoras de acetato (acetoclásticas) e as bactérias utilizadoras de hidrogênio (hidrogenotróficas) (Siqueira, 2018).



A metanogênese é uma etapa crítica da biodigestão anaeróbia devido a esta ser a reação química mais lenta de todo o processo. A metanogênese sofre grande influência de fatores de operação do biodigestor, como, composição do resíduo a ser inserido, taxa de inserção de resíduos, temperatura e pH. Mudanças de temperatura e entrada de altas taxas de oxigênio podem resultar na não geração de metano (AL Seadi, et al. 2008).

2.1.2 Parâmetros que Influenciam a Decomposição Anaeróbia

A decomposição anaeróbia pode ser seriamente influenciada por alguns parâmetros de operação do biodigestor, bem como pelas condições dos substratos adicionados no mesmo. Os principais parâmetros serão apresentados a seguir.

2.1.2.1 Temperatura

A temperatura em um reator tem um papel muito importante por ser um limitante para a sobrevivência dos micro-organismos dentro do reservatório, bem como por ser o principal parâmetro de seleção dos tipos de bactérias que estão agindo no processo da decomposição anaeróbia. A eficiência do biodigestor está diretamente ligada a temperatura. Quanto mais quente, mais rápida é a decomposição dos resíduos orgânicos e com isso a geração do biogás.

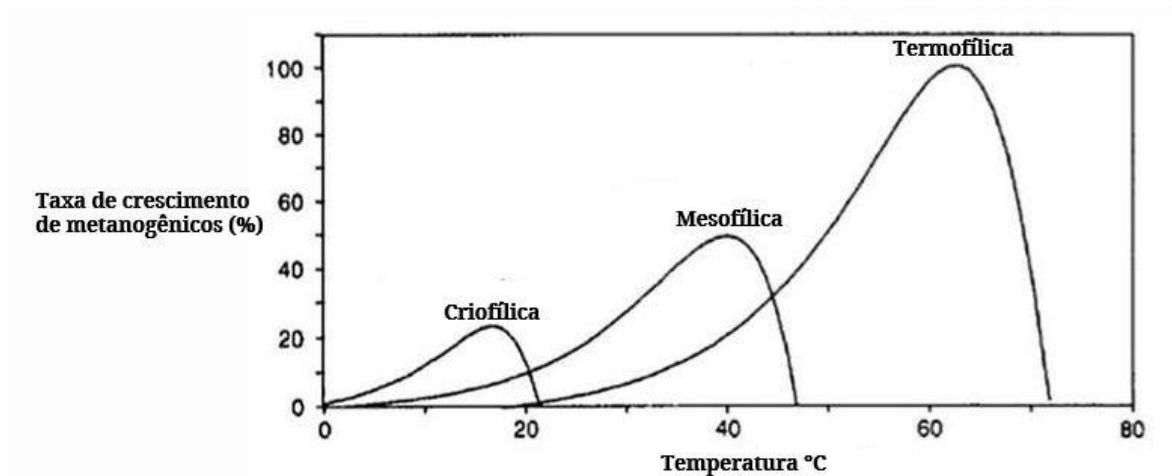
O processo da digestão anaeróbia é dividido em três estágios de temperatura: Termofílicas (45°C - 70°C), Mesofílicas (25°C - 45°C) e Criofílica (abaixo de 25°C). Esse processo é diretamente ligado ao tempo de retenção da matéria orgânica no biodigestor como mostrado na TABELA 1 e na FIGURA 2.

TABELA 1 - VARIAÇÃO DE ESTÁGIOS TÉRMICOS E TÍPICOS TEMPOS DE RETENÇÃO.

Estágio Térmico	Temperatura	Tempo mínimo de retenção
Termofílica	43°C - 55°C	15 a 20 dias
Mesofílica	30°C - 42°C	30 a 40 dias
Crio-fílica	Abaixo de 20°C	70 a 80 dias

FONTE: Adaptado do Biogás Handbook (Al Seadi 2008).

FIGURA 2 - GRÁFICO DA TAXA DE CRESCIMENTO DAS BACTÉRIAS METANOGÊNICAS NA PRESENÇA DE DIFERENTES TEMPERATURAS



FONTE: Adaptado do Biogás Handbook (Al Seadi 2008).

A solubilidade de muitos componentes depende da temperatura, o que é essencial para estes os quais têm algum tipo de inibição no efeito do processo de decomposição. A viscosidade da decomposição anaeróbia dos substratos é inversamente proporcional a temperatura. O que faz os substratos serem mais líquidos a maiores temperaturas e a difusão de materiais dissolvidos é então facilitada. Por isso a operação de reatores em condições termofílicas resulta em reações químicas mais rápidas e maior eficiência na produção de metano, maior solubilidade e menor viscosidade (AL Seadi, et al. 2008).

A variação da temperatura também é um fator importante para as bactérias atuando no reator. A flutuação de temperatura pode atingir de maneira negativa a

produção de biogás. As bactérias termofílicas são mais sensíveis a variação de temperatura podem morrer com baixas variações, $\pm 1^{\circ}\text{C}$, e precisam de mais tempo para se adaptarem a uma nova temperatura. As bactérias mesofílicas são menos prejudicadas pela variação da temperatura, toleram $\pm 3^{\circ}\text{C}$ sem reduções significativas na produção de metano.

2.1.2.2 Quantidade de matéria seca (MS)

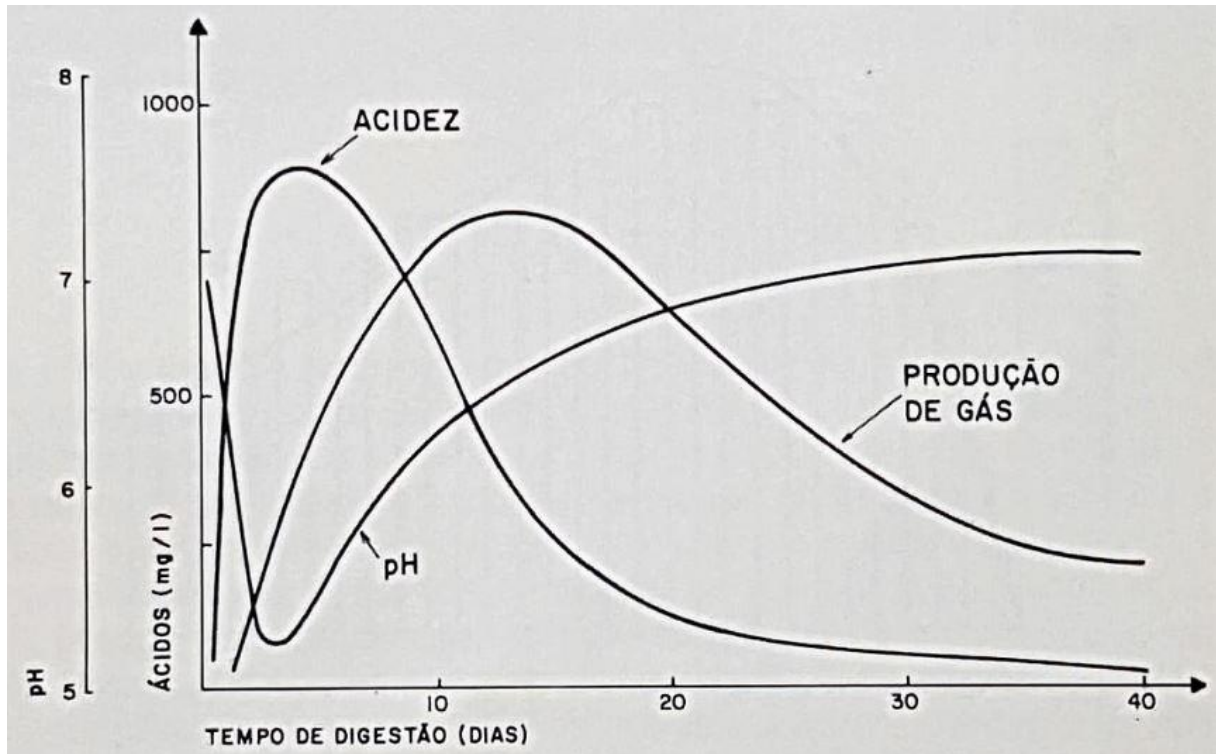
Na produção do biogás e do biometano, a biomassa utilizada deve conter um teor de 7 a 9% de matéria seca, isto é, cada 100 Kg de biomassa deve conter no mínimo 8 Kg de matéria seca (Comastri Filho, J. 1981).

2.1.2.3 pH e acidez

Os fenômenos microbiológicos que ocorrem no interior do digestor, ocasionam a formação de ácidos (acético, butírico, propiônico) quando no início da fermentação. Após alguns dias, com a ação das bactérias metanogênicas, o material no interior do biodigestor torna-se neutro, assim mantendo-se enquanto houver a produção de gás. Quando por razões extra fermentação ocorre um aumento na acidez do meio (pH menor que 7) a produção de gás diminui. Por outro lado, também diminui a produção de gás quando o meio se torna muito alcalino (pH maior que 7). Um aumento na alcalinidade pode verificar-se por excesso de materiais protéicos na carga do biodigestor quando, então é produzido o íon amônia. Esse íon (NH_3) quando dissolvido em água ($\text{NH}_3\text{-OH}$) é fortemente alcalino (MOTTA, Fernando).

A FIGURA 3 apresenta um gráfico onde estão indicados para o intervalo de operação de 0 a 40 dias os valores esperados do pH para as diferentes etapas de operação de um reator mantido com uma carga estática.

FIGURA 3 -GRÁFICO DA RELAÇÃO ENTRE ACIDEZ E PRODUÇÃO RELATIVA DE BIOGÁS



FONTE: (MOTTA, Fernando)

2.1.2.4 Ácidos Graxos Voláteis

A estabilidade do processo da digestão anaeróbia é refletida pela concentração de alguns produtos intermediários, como os ácidos graxos voláteis. Estes, são componentes intermediários (acetato, propionato, butirato, lactato), produzidos durante a acidogênese, com uma cadeia de carbono contendo mais do que seis átomos. Na maioria dos casos, a instabilidade do processo da biodigestão anaeróbia leva a acumulação de ácidos graxos voláteis dentro do digestor, o que pode diminuir o valor do pH. No entanto, a acumulação dos ácidos graxos voláteis não é sempre expressada por uma queda no valor do pH, devido a capacidade de amortecimento do biodigestor, através do tipo de biomassa contida no reator (MOTTA, Fernando).

Apesar das concentrações dos ácidos graxos voláteis serem um fator importante, diferentes reatores podem ter variedades bastante diferentes de micro-organismos. Por esta razão, como no caso do pH, os ácidos graxos voláteis não podem ser utilizados como únicos parâmetros para o processo de monitoramento da biodigestão anaeróbia.

2.1.2.5 Macro e micro nutrientes

A existência de macro nutrientes como fósforo, nitrogênio, carbono, enxofre, alguns micronutrientes minerais, aminoácidos e vitaminas são essenciais para o desenvolvimento das bactérias metanogênicas, com isso o conhecimento da constituição química dos substratos inseridos nos reatores anaeróbios é de extrema importância. Pode ser feito também se necessário a inserção de componentes a biomassa que auxiliem a fermentação anaeróbia (OLIVEIRA, Rafael. 2009).

2.1.2.6 Relação Carbono-Nitrogênio e Carbono-Fósforo

As relações C/N e C/P são fatores muito importantes no processo da decomposição anaeróbia. Quando ocorre falta ou excesso de qualquer desses dois elementos, o processo anaeróbio é prejudicado (Comastri Filho, J. 1981).

2.1.3 Substratos para a Biodigestão Anaeróbia

Vários tipos de biomassa podem ser utilizados como substratos para a produção de biogás a partir da digestão anaeróbia. Os tipos mais comuns de biomassa usadas na Europa para a produção do biogás estão listadas abaixo.

- Estrume de animais;
- Resíduos da agricultura;
- Resíduos orgânicos advindos da agro indústria e da indústria alimentícia (origem vegetal e animal);
- Fração de resíduos orgânicos dos resíduos municipais (origem vegetal e animal);
- Lodo de esgoto;
- Culturas energéticas dedicadas para a produção de biomassa (ex: milho, trigo e sorgo);

Os substratos para a digestão anaeróbia podem ser classificados de acordo com alguns critérios: origem, conteúdo de matéria seca, rendimento de metano, conteúdo orgânico e outros. A TABELA 2 apresenta uma visão geral das características de

alguns tipos de matéria prima digestível. Os substratos com conteúdo de matéria seca menor que 20% são usados para o que é chamado de digestão úmida (fermentação úmida). Esta categoria inclui estrume e pasta de animais assim como vários resíduos orgânicos úmidos advindos da indústria alimentícia. Quando o conteúdo de matéria seca é maior que 35%, o mesmo é chamado de digestão seca (fermentação seca), e é tipicamente para culturas energéticas e silagens. A escolha do tipo e da quantidade de matéria orgânica como matéria orgânica para o substrato da digestão anaeróbia depende do conteúdo de matéria seca assim como o teor de açúcar, lipídios e proteínas.

TABELA 2 -AS CARACTERÍSTICAS DE ALGUNS TIPOS DE MATÉRIA PRIMA DIGESTÍVEL PARA DIGESTÃO ANAERÓBIA

Tipo de Matéria Prima	Conteúdo Orgânico	RelaçãoC:N	MS %	Sólidos Voláteis	Produção De Biogás m ³ *kg ⁻¹	Impurezas físicas indesejadas	Outros materiais indesejados
Estrume de porco	Carboidratos, proteínas e Lipídios	3-10	3-8	70-80	0,25-0,50	Aparas de madeira, água, areia, palha, cordas	Antibióticos, desinfetantes
Estrume de gado	Carboidratos, proteínas e Lipídios	6-20	5,12	50	0,20-0,30	Cordas, solo, água, palha, madeira	Antibióticos, desinfetantes, NH ₄
Estrume de aves	Carboidratos, proteínas e Lipídios	3-10	10-30	80	0,35-0,60	Grãos, areia, penas	Antibióticos, desinfetantes, NH ₄
Estomago e Intestino conteúdo	Carboidratos, proteínas e Lipídios	3-5	15	80	0,40-0,68	Tecidos animais	Antibióticos, desinfetantes
Soro de leite	70-80% Lactose 20-25% Proteína	n.a.	8-12	90	0,35-0,80	Impurezas de transporte	
Soro concentrado	70-80% Lactose 20-25% Proteína	n.a.	20-25	90	0,80-0,95	Impurezas de transporte	
Lodo de flutuação	65-70% Proteínas 30-35% Lipídios					Tecidos animais	Metais pesados, desinfetante, poluentes orgânicos

Palha	Carboidratos, Lipídios	80-100	70-90	80-90	0,15-0,35	Areia, grãos	
Resíduos de Jardim		100-150	60-70	90	0,20-0,50	Solo, componentes celulósicos	Pesticidas
Gramma		12-25	20-25	90	0,55	Grãos	Pesticidas
Silagem de capim		10-25	15-25	90	0,56	Grãos	
Resíduos de Fruta		35	15-20	75	0,25-0,50		
Óleo de peixe	30-50% Lipídios	n.a.					
Óleo de soja	90% Óleo Vegetal	n.a.					
Álcool	40% Álcool	n.a.					
Restos de comida			10	80	0,50-0,60	Ossos, plástico	Desinfetantes
Resíduos Orgânicos domésticos						Plástico, metal, pedras, madeira, vidro	Metais pesados, poluentes orgânicos
Lodo de esgoto							Metais pesados, poluentes orgânicos

FONTE: Adaptado do Biogás Handbook (AL SEADI 2008).

2.1.2 Biogás

A produção e utilização do biogás advindo da digestão anaeróbia promove benefícios econômicos sociais e ambientais para a sociedade como um todo. A utilização e produção do biogás aumenta a capacidade econômica regional, promove empregos principalmente em áreas rurais e aumenta o poder energético local descentralizado. Esses fatores melhoram as condições de vida das regiões, além de promover e contribuir com o desenvolvimento econômico e social.

A economia global é dependente de petróleo e não se sabe ao certo até quando os recursos não renováveis estarão disponíveis para o uso humano. Ao contrário dos combustíveis fósseis, o biogás gerado pela digestão anaeróbia é

permanente renovável, sendo que este é produzida por biomassa. O biogás da biodigestão anaeróbia não apenas melhora o balanço energético de uma região ou um país, mas também tem uma importância relevante de contribuição para a preservação dos recursos naturais e preservação ambiental. Além de reduzir a dependência de combustíveis fósseis importados como ocorrem em muitos países pela escassez destes recursos nos mesmos.

O uso de combustíveis fósseis como carvão, petróleo e gás natural, converte carbono estocado por milhões de anos na crosta terrestre em dióxido de carbono na forma de gás para a atmosfera. Um aumento da concentração desses CO₂ na atmosfera causa o aquecimento global, sendo que o dióxido de carbono é um gás do efeito estufa. A combustão do biogás também libera CO₂. No entanto, a principal diferença quando comparado o mesmo com combustíveis fósseis é que o carbono no biogás foi recentemente retirado da atmosfera pelo processo de fotossíntese pelas plantas. O ciclo do carbono do biogás é então fechado dentro de um período muito curto de tempo (entre um e vários anos) e não entre milhões de anos. O biogás produzido pela biodigestão anaeróbia reduz a emissão do metano (CH₄) e do óxido nitroso (N₂O) da armazenagem e utilização de resíduos animais sem tratamento para a fertilização na agricultura. O metano como um gás do efeito estufa é 23 vezes mais poderoso que o dióxido de carbono em termos do efeito estufa. O uso do biogás adere uma contribuição significativa para a contribuição da mitigação do efeito estufa.

2.1.2.1 Características do Biogás

No biogás há alguns principais componentes que são o metano e o gás carbônico, além de constituintes que geralmente são produzidos em baixas concentrações como o monóxido de carbono, sulfeto de hidrogênio, amônia, entre outros (LIMA, Ana C. PASSAMINI, Fernanda C 2012). A TABELA 3 apresenta a porcentagem de cada componente presente no biogás.

TABELA 3 - FRAÇÃO VOLUMÉTRICA [M³] DE CADA COMPONENTE PRESENTE NO BIOGÁS

Metano (CH ₄)	50% a 75%
Dióxido de carbono (CO ₂)	25% a 40%
Hidrogênio (H ₂)	1% a 3%
Nitrogênio (N ₂)	0,5% a 2,5%
Oxigênio (O ₂)	0,1% a 1%
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	0,1% a 0,5%
Amônio (NH ₃)	0,1% a 0,5%
Monóxido de Carbono (CO)	0% a 0,1%
Água (H ₂ O)	Variável

FONTE: (LIMA, Ana C. PASSAMINI, Fernanda C. 2012)

As características do biogás dependem da temperatura, pressão, concentração de metano e concentração de gases inertes e/ou ácidos.

A densidade do ar é maior do que a do biogás, e com isso, o biogás apresenta um risco menor a explosão. Em suas condições normais de produção deste gás não é considerado tóxico, pois apresenta um teor de monóxido de carbono entre 0% e 0,1%. No entanto as impurezas contidas no biogás o tornam altamente corrosivo, tendo em vista principalmente o gás sulfídrico presente no mesmo que ataca diversos materiais, como cobre, latão e aço.

2.1.2.2 Poder Calorífico do biogás

A energia liberada pelo combustível (sólido, líquido e gasoso) na queima é denominada poder calorífico. O poder calorífico de um combustível é a quantidade de energia liberada pela combustão completa de uma quantidade do mesmo, podendo esta ser medida em unidade de massa ou volume. No sistema internacional o poder calorífico é expresso em Joules por quilograma, porém pode ser expresso em calorias por grama, ou quilocalorias por quilograma. O poder calorífico divide-se em superior (PCS) e inferior (PCI) (LIMA, Ana C. PASSAMINI, Fernanda C. 2012).

A concentração do metano contido no biogás está diretamente relacionada com o poder calorífico do biogás. Quanto maior for a concentração de metano na mistura de gás, maior será o potencial energético do gás como apresentado na TABELA 4 abaixo.

TABELA 4 - PODER CALORÍFICO DO BIOGÁS COM VARIAÇÃO EM SUA COMPOSIÇÃO QUÍMICA.

Composição Química Biogás	Peso Específico (Kg/Nm³)	Poder Calorífico Inferior (kcal/kg)	Poder Calorífico Inferior (kcal/Nm³)
60% CH ₄ , 40% CO ₂	1,2143	4229,98	5136,46
65% CH ₄ , 35% CO ₂	1,1518	4831,14	5564,5
75% CH ₄ , 25% CO ₂	1,0268	6253,01	6420,59
95% CH ₄ , 5% CO ₂	0,7768	10469,6	8132,78
99% CH ₄ , 1% CO ₂	0,7268	11661,02	8475,23

FONTE: (LIMA, Ana C. PASSAMINI, Fernanda C. 2012)

Pode se fazer então um quadro comparando o poder calorífico do biogás com outros gases apresentado na TABELA 5.

TABELA 5 - PODER CALORÍFICO DE ALGUNS GASES.

Gás	Poder Calorífico (kCal/Nm ³)
Biogás	5500
Butano	28000
Gás Liquefeito de Petróleo (GLP)	25775
Gás natural	7600
Metano	8500
Propano	22000

FONTE: (LIMA, Ana C. PASSAMINI, Fernanda C.)

2.1.2.3 Purificação do Biogás

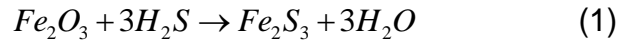
A purificação do biogás é um processo muito importante para o uso do mesmo devido a este em suas condições sem filtragem ser corrosivo para motores e conter altas concentrações de umidade e CO₂ o que reduz o poder calorífico do mesmo e inviabiliza-o para o uso em determinados motores e caldeiras. Com isso, os principais processos da purificação do biogás são a retirada de substâncias corrosivas como o gás sulfídrico, desumidificação do biogás e retirada do dióxido de carbono com o intuito de aumentar o potencial calorífico do gás.

2.1.2.3.1 Desumidificação do Biogás

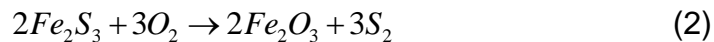
Este processo dependerá da necessidade de retirada de umidade do gás para diferentes usos. A desumidificação do gás pode ser feita utilizando glicóis, com sílica gel ou outro produto que retenha a umidade (OKAMURA, Layssa A., 2013)

2.1.2.3.2 Remoção do gás sulfídrico por óxido férrico

A retirada do gás sulfídrico através do óxido de ferro III (Fe₂O₃) é dada fazendo com que o biogás passe por uma tubulação contendo o material Fe₂O₃ e o biogás vai perdendo o gás sulfídrico H₂S que fica retido ao reagir com o óxido de ferro. Este é um processo simples e de baixo custo. A reação é apresentada abaixo (1):



A fim de recuperar o óxido de ferro, deve-se expor o preenchimento ao ar (2):



É estimado que 1,0 m³ de óxido de ferro possa ser capaz de retirar 100 kg de enxofre (OLIVEIRA, Rafael.,2009).

Outra maneira de retirar o gás sulfídrico, é fazendo a lavagem do gás através de lixívia de hidróxido de potássio (KOH) podendo-se utilizar o sal resultante do processo como aditivo no biofertilizante, pois este contém enxofre e potássio (OKAMURA, Layssa A., 2013).

2.1.2.3.3 Remoção do gás carbônico

Uma maneira simples de retirar o gás carbônico do biogás, é lavando este com água. Porém este é um processo diretamente dependente da pressão e temperatura da água. Obtendo altas pressões é possível retirar altas quantidades de gás carbônico. No entanto, após este processo a água pode se tornar muito ácida e com isso corrosiva, deve se tomar um cuidado especial para que a acidez não cause problemas aos materiais e posteriormente ao meio ambiente.

2.1.2.4 Uso e distribuição do biogás

A energia do biogás pode ser explorada de diferente maneiras. Por exemplo, esta pode ser usada para aquecimento local ou aquecimento para locais remotos através de redes de gás. O biogás pode também ser usado para a geração de energia elétrica, contribuindo assim para a geração de energia distribuída e também fornecendo acesso a energia para locais remotos onde não existem conexões à energia elétrica. Novos sistemas de armazenagem do biogás estão sendo desenvolvidos com o aumento do uso do biogás como combustível de veículos. O

biogás também pode ser distribuído através de redes de gás já existentes. Este pode ser transportados como gás comprimido ou na forma líquida (HELD, Jörgen; MATHIASSEN, Anders; NYLANDER, Anders., 2018)

2.1.2.4.1 Uso térmico

Um dos usos mais simples do biogás é a queima para aquecimento de água e produção de vapor ou apenas para aquecimento. A combustão direta em queimadores de gás natural, é aplicada em muitos países. O biogás pode ser queimado para produção de calor tanto no local, quanto transportado por tubos para uso final em outros locais. Para fins de aquecimento o biogás não precisa de aprimoramento, pois a contaminação não tem grande efeito como tem para outras aplicações.

2.1.2.4.2 Produção combinada de calor e energia elétrica

A geração combinada de calor e energia a partir da decomposição anaeróbia em muitos países com um setor de biogás desenvolvido considera o uso do biogás como fonte de energia uma prática bastante eficiente. Antes da conversão do biogás em energia elétrica e calor, o mesmo é desumidificado e drenado. A maioria dos maquinários a gás têm limites máximos para o conteúdo de sulfeto de hidrogênio, hidrocarbonetos halogenados e siloxanos no biogás. Uma usina de energia e calor com motor tem uma eficiência de até 90% e produz 35% de eletricidade e 65% de calor (Al Seadi, et al, 2008).

2.1.2.4.3 Combustível de veículos

O uso do biogás como combustível para o setor de transporte é uma tecnologia com grande potencial e com um importante valor socioeconômico e ambiental. O biogás já é utilizado no transporte de países como Suécia, Alemanha e Suíça(Al Seadi, et al, 2008).

Para fins de combustível de veículos o biogás deve ser purificado retirando o gás sulfídrico e o gás carbônico. O H₂S deve ser retirado a fim de evitar a corrosão

das peças dos motores e o gás carbônico para aumentar o poder calorífico do gás e a autonomia do veículo (OLIVEIRA, Rafael 2009).

2.2 ESTADO DA ARTE

2.2.1 Panorama do biogás no Mundo

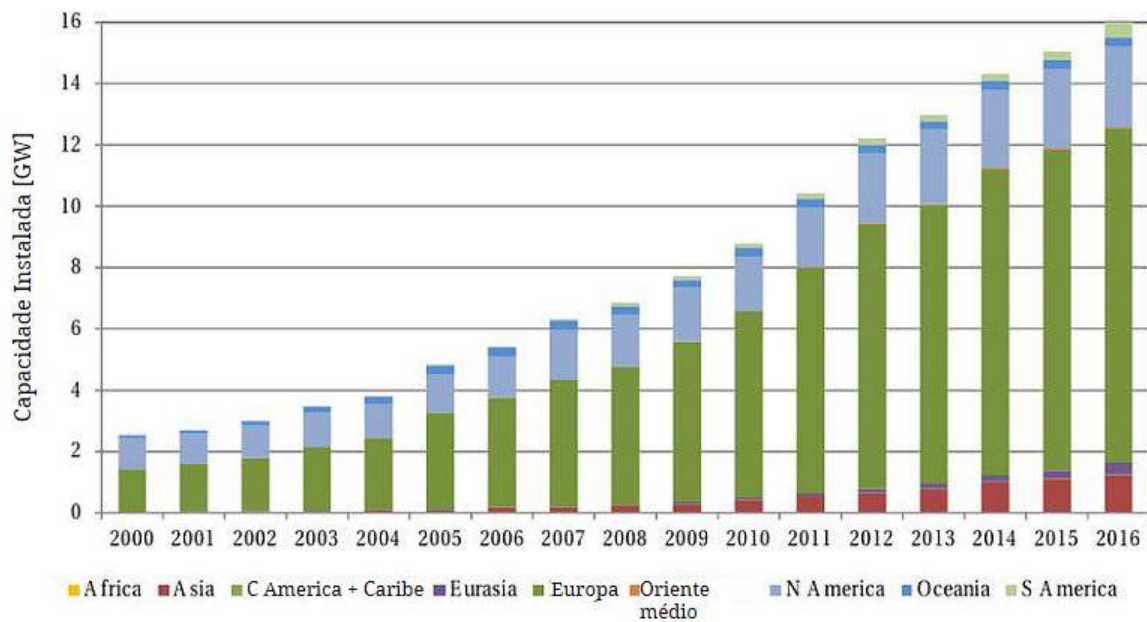
Em todos os continentes a prática da biodigestão anaeróbia vem crescendo ao longo dos anos. No entanto ainda há uma diferença entre países em desenvolvimento e países desenvolvidos com relação a este assunto principalmente em questões de escala da produção do biogás e os usos finais para os quais o biogás é usado.

Em vários países desenvolvidos do mundo as unidades de produção de biogás para tratamento de biomassa de resíduos úmidos, estações de tratamento de efluentes e recuperação de gás de aterros sanitários estão se expandindo. A prática de aprimoramento do biogás para o biometano de alta qualidade também está aumentando, para usos como combustível de veículos ou para injeção na rede de gás natural. O biometano já está sendo introduzido como fonte importante do setor energético de diversos países e com o desenvolvimento do setor de transporte utilizando este gás traz aprimoramento em toda uma cadeia de setores em conjunto.

Em países subdesenvolvidos, o biogás é produzido principalmente em reatores domésticos de pequeno porte com o intuito de fornecer combustível para cozinhar ou mesmo para iluminação. Já em países desenvolvidos, a geração do biogás se concentra em usinas de larga escala, agrícolas e comerciais, de eletricidade e aquecimento. Principalmente em países em desenvolvimento há uma gama de programas de apoio ao biogás a fim de desenvolver sistemas domésticos de biogás para fornecer às pessoas o biogás para cozinha, como fonte de energia alternativa, para reduzir o consumo de lenha e evitar o desmatamento, diminuir a poluição do ar interno e melhorar a fertilidade do solo. Países da Ásia (China, Tailândia, Índia, Nepal, Vietnã, Bangladesh, Sri Lanka e Paquistão) têm grandes programas para produção doméstica de biogás (SCARLAT, Nicolae; FRAN, Jean; FAHL Fernando).

A FIGURA 4 apresenta como vem sendo o desenvolvimento do biogás em termos de uso para a geração de energia elétrica. A Europa contém os principais números, porém no mundo inteiro está havendo desenvolvimento do setor, este ainda muito recente para a realidade de muitos países.

FIGURA 4 CAPACIDADE INSTALADA DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS NO MUNDO.



FONTE: (SCARLAT, N. ; FRAN, J. ; FAHL F., 2018)

2.2.2 Panorama do biogás no Brasil

No Brasil a lei nº12.490, de 16 de setembro de 2011 define biocombustível como: substância derivada de biomassa renovável, tal como biodiesel, etanol e outras substâncias estabelecidas em regulamento da ANP, que pode ser empregada diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna ou para outro tipo de geração de energia, podendo substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. E a resolução Nº 8, de 30 de Janeiro de 2015 que especifica as definições de biogás e biometano e os requisitos de qualidade desse gás e como o este deve ser atendido com as detalhadas especificações técnicas dispostos na resolução ANP nº 23, de 13 de agosto de 2012. De acordo com a resolução, o

biometano produzido a partir de produtos e resíduos pecuários (como, por exemplo, dejetos de suínos e de aves), agrícolas e agroindustriais será tratado de maneira análoga ao gás natural (GN). Isto significa que o biometano poderá ter o mesmo uso do gás natural (GN), tendo a mesma valoração econômica do GN desde que atenda às exigências de qualidade do produto estabelecidas nesta resolução da ANP.

No Brasil, segundo a ABiogás com a proposta de programa nacional de biogás e biometano em geral os biodigestores empregados são considerados de média tecnologia para grandes produtores de resíduos e efluentes orgânicos e biodigestores de baixa tecnologia para conjuntos de pequenos produtores em operações condominiais.

Em vários momentos da história recente do Biogás no Brasil ocorreram iniciativas para produzir e usar o biogás. Nos anos 70 o combustível chegou a integrar o modelo da “revolução verde”, paradigma da atual economia mundial de produção de alimentos. Entretanto, ao contrário de outras tecnologias, o biogás não prosperou. As razões disso são várias e vão desde o atrelamento do biogás aos preços do petróleo, que ao despencar desestimularam o uso do biogás como fonte alternativa de energia, até o mau emprego dos dejetos animais, na época manejados sem nenhum critério. Outra causa apontada para o insucesso foi a opção por biodigestores com componentes em ferro, que logo foram corroídos pelo ácido sulfídrico, um dos constituintes do biogás.

A Associação Brasileira de Biogás e Biometano estima o potencial de produção de biogás de maneira conservadora no Brasil em 23 bilhões de m³/ano, sendo 12 bilhões de cana-de-açúcar, 8 bilhões de alimentos e 3 bilhões de resíduos. Esse montante equivale a aproximadamente 11 milhões de toneladas equivalentes de petróleo ao ano, ou 12 bilhões de litros equivalente de diesel.

2.2.3 Biodigestores

O biodigestor, chamado também de digestor ou reator é uma câmara onde ocorre o processo fermentativo da decomposição dos resíduos que interessam em transformá-los em biogás e biofertilizante a fim de tratá-los. Existem vários tipos de digestores operando ao redor do mundo. Estes podem ser feitos de concreto, aço, tijolo ou plástico, em formas de silos, cavidades, bacias ou tanques, e podem ser

colocados no subsolo ou na superfície. O tamanho dos reatores determina a escala das usinas de biogás e varia de poucos metros cúbicos no caso de pequenas instalações domésticas a vários milhares de metros cúbicos, como no caso de grandes usinas comerciais, em muitos casos com muitos digestores. As principais aplicações dos biodigestores são para fins de agricultura, tratamento de esgoto, tratamento de resíduos industriais de comidas processadas, da indústria de fermentação, bem como do tratamento de resíduos sólidos urbanos. As plantas de tratamento de resíduos e geração de biogás são capazes de tratar por dia volumes de resíduos entre: 2kg até toneladas no mesmo dia.

Biodigestores podem ser do tipo contínuo ou do tipo batelada, o primeiro são sistemas onde a inserção de matéria a ser digerida é colocada de maneira contínua. Estes sistemas produzem biogás de maneira contínua, de maneira que a matéria é colocada no biodigestor para ser digerida. Os sistemas de biodigestores em batelada são sistemas onde todo o material a ser digerido é inserido no reator, e depois de toda esta matéria ser tratada e o biogás retirado, então toda a matéria restante é retirada e um novo ciclo começa.

Sistemas de pequeno porte podem ser chamados de biodigestores domésticos, usados basicamente para os resíduos gerados em residências ou em pequenas empresas para tratar os resíduos do local. Três exemplos de sistemas são o biodigestor empresa israelense Homebiogas, apresentado na IMAGEM 1 capaz de tratar 6 litros de resíduos diariamente, por um custo de aproximadamente R\$ 6,500, o biodigestor da empresa curitibana BGS Equipamentos com volume de 2m³ capaz de tratar até 15kg de resíduos por dia, com um custo de aproximadamente R\$ 5,000. Sistemas como estes apresentados são utilizados geralmente apenas para o aproveitamento do gás pois não há potencial para a geração de energia elétrica.

IMAGEM 1 - IMAGEM DE UM BIODIGESTOR RESIDENCIAL DA MARCA HOMEBIOGAS.



FONTE: Imagem do site da empresa HOME BIOGAS.

O biodigestor da IMAGEM 1 é um sistema de médio porte que trata resíduos de uma granja no Brasil apresentado pela CI Biogás (Centro Internacional de Biogás). Este sistema é acoplado a um gerador de energia elétrica a partir do biogás e a energia gerada é utilizada para abastecer a granja e a fazenda, a energia excedente vai para a rede de energia, que no caso do Brasil retorna para o proprietário do reator como créditos de energia que podem ser utilizados em até 5 anos. Este é um sistema clássico no Brasil para a geração de biogás em áreas rurais.

IMAGEM 2 - BIODIGESTOR EM UMA FAZENDO BRASILEIRA



FONTE: CiBiogás – Energias renováveis.

O biodigestor da a seguir é um sistema conhecido como modelo alemão, localizado na cidade de Silloth no norte da Inglaterra (IMAGEM 3) apresentado no site da Europe Renewable Energy Association. Este sistema é muito usado em países do mundo todo para diversos tipos de substratos, desde resíduos orgânicos de cidades, culturas energéticas ou dejetos de animais. O principal substrato utilizado neste reator são culturas energéticas a partir do milho e dejetos de animais. Este sistema possui aquecimento para que não haja variações de temperatura e assim não afetar a biodigestão anaeróbia. A capacidade do sistema é de 32,000 toneladas de resíduo por ano.

IMAGEM 3 - BIODIGESTOR DE GRANDE PORTE NO NORTE DA INGLATERRA NA CIDADE DE SILLOTH.



FONTE: Biogas – Renewable Energy Association.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

A apresentação dos materiais e métodos do presente trabalho está dividida em duas partes. A primeira, apresentação do biodigestor residencial e do seu funcionamento na cidade de Curitiba e a segunda parte explana sobre projeções de adesão do sistema nas residências e edifícios domiciliares da cidade e os impactos nos aspectos sociais, ambientais e energéticos da adesão do sistema pela população da cidade de Curitiba.

3.1 PARTE 1

3.1.1 Área de estudo

O presente estudo de caso foi realizado para a cidade de Curitiba, capital do Estado do Paraná, situada a 25° 25' de latitude sul e 49° 16' de longitude oeste, 934,6 m acima do nível do mar, no primeiro planalto paranaense. É uma das maiores e principais cidades da região Sul do Brasil (IPPUC, 2007).

A infraestrutura da cidade para com os serviços de limpeza e coleta de lixo são 100% realizados pela prefeitura para domicílios. A população registrada no último censo em 2010 foi de 1.751.907 pessoas e a densidade demográfica registrada foi de 4.027,04 hab./km². A população estimada de 2017 da cidade segundo o IBGE é de 1.908.359 pessoas, porém para a realização das projeções presentes neste trabalho se utilizou-se os dados fornecidos pelo censo de 2010 (IPPUC, 2007).

O salário médio dos trabalhadores formais no ano de 2015 era de 4 salários mínimos e o PIB per capita também de 2015 era de R\$ 44.624,32 (IPPUC, 2007) .

3.1.2 Dados do Biodigestor

O biodigestor residencial utilizado como base para este trabalho foi adquirido para servir de protótipo para melhorias e desenvolvimento de um novo biodigestor de pequeno porte pela empresa CWBIOGAS. O sistema apresentado é um biodigestor de 2 metros cúbicos (m³) de volume com capacidade para até 15 kg de

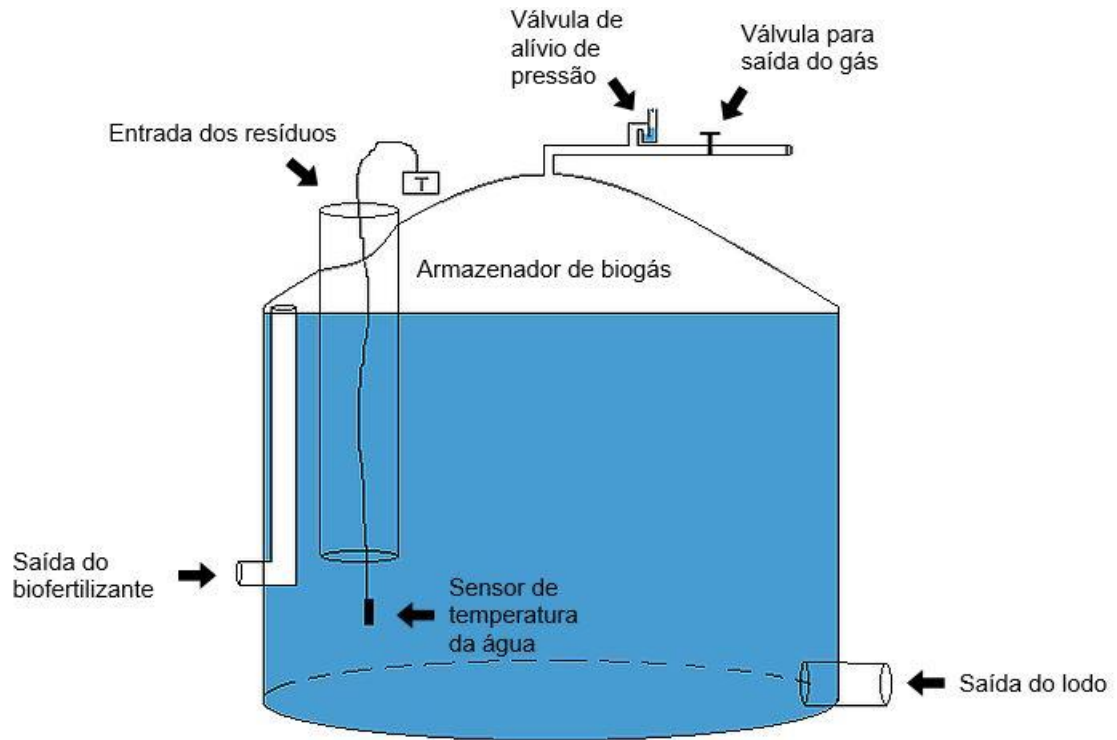
resíduo por dia (IMAGEM 4). Tem um espaço de armazenamento de biogás de 1m³ antes da passagem pelo filtro. Este reator é feito de PVC flexível com uma chapa de metal ao seu redor e uma chapa de material térmico e em seguida da capa como apresentado na IMAGEM 5 e na FIGURA 5. A IMAGEM 6 é a válvula de alívio de pressão localizada logo após a saída do gás apontada na FIGURA 5.

IMAGEM 4 - BIODIGESTOR PROTÓTIPO DA CWBIOGAS.



FONTE: (O autor deste documento)

FIGURA 5 - ESQUEMA VISUAL DO BIODIGESTOR PROTÓTIPO DA CWBIOGAS.



FONTE: (O autor deste documento)

IMAGEM 5 - BIODIGESTOR PROTÓTIPO DA CWBIOGAS SEM CAPA.



FONTE: (O autor deste documento).

IMAGEM 6 - VÁLVULA DE ALÍVIO DE PRESSÃO



FONTE: (O autor deste documento)

3.1.2.1 Local do estudo

O presente estudo foi realizado em uma residência no bairro Campo Comprido na cidade de Curitiba, onde está localizado o biodigestor. A local do estudo fica em uma área aberta no quintal de uma casa, ao lado de uma região com mata.

3.1.2.1 Condições do biodigestor

O biodigestor do presente trabalho está em funcionamento a aproximadamente sete meses, desde o início no mesmo local. O reator está em uma área aberta sofrendo os efeitos climático e meteorológicos como luz solar, chuva e variações de temperatura. O sistema desde o início do seu uso foi abastecido com resíduos de forma semelhante a apresentada neste trabalho.

3.1.2 Experiência operacional

O reator foi adquirido para o desenvolvimento de um protótipo e análise do funcionamento do sistema e melhorias que poderiam ser feitas no sistema para adaptação do uso por pessoas leigas em áreas urbanas. A experiência operacional do biodigestor, desde a montagem do sistema até a operação diária do sistema mostrou a viabilidade do uso de tais sistemas em residências ou até mesmo apartamentos com áreas disponíveis para a obtenção do sistema, porém há a necessidade de fazer melhorias no sistema para garantir um maior tempo de vida e maior estabilidade no funcionamento do mesmo.

3.1.2.1 Montagem do reator

Primeiramente, localizou-se uma área plana e perto de um local onde fosse realizado o uso do biogás afim de evitar a necessidade de uma bomba para o bombeamento do biogás para o local de uso. A IMAGEM 7 mostra o sistema, como chegou do fabricante pré melhorias.

IMAGEM 7 - COMO O BIODIGESTOR PROTÓTIPO CHEGOU EMBALADO.



FONTE: (O autor deste documento)

Após ter localizado o local onde o biodigestor seria instalado, inflou-se o mesmo com ar IMAGEM 8, através de uma bomba de encher pneu de carro e o sistema foi deixado inflado por 24h com o intuito de verificar se o mesmo se encontrava completamente selado para garantir a qualidade da geração de biogás.

IMAGEM 8 - BIODIGESTOR INFLADO PARA TESTE DE QUALIDADE.



FONTE: (O autor deste documento)

Após o teste de qualidade do reator para verificar a selagem do sistema, a chapa de metal da IMAGEM 9 a esquerda foi parafusada, o biorreator foi colocado no local onde o mesmo seria instalado e então deu-se o preenchimento com água no sistema como mostrado a direita da IMAGEM 9.

IMAGEM 9 - MONTAGEM DO SISTEMA.



FONTE: (O autor deste documento)

Na IMAGEM 9 à esquerda na imagem está a chapa metálica responsável pelo suporte do peso do biodigestor antes da montagem do sistema. A imagem a direita mostra o biodigestor sendo preenchido com água com ênfase em um retângulo vermelho a chapa metálica já parafusada para suportar a força da água no reator.

Ao término desta etapa, foi instalado a válvula de alívio de pressão apresentada na FIGURA 5, e foi então colocado ao redor da chapa metálica um isolante térmico e por cima de todo o sistema uma capa de PVC verde como apresentado na IMAGEM 5 com o intuito de proteger o reator como um todo e facilitar a limpeza externa do mesmo.

3.1.2.2 Montagem do filtro do biogás

O filtro do biogás foi feito em um tubo de PVC e como componentes filtrantes utilizou-se dois compostos como lavadores de gases, são esses: sílica e palha de aço como mostrado na IMAGEM 10. A sílica foi escolhida para remover a umidade do gás e a palha de aço para remover o gás sulfídrico presente no mesmo.

IMAGEM 10 - SÍLICA E PALHA DE AÇO UTILIZADAS PARA A MONTAGEM DO FILTRO CASEIRO.



FONTE: (O autor deste documento)

3.1.2.3 Operação do sistema

A operação do sistema depois do início de seu funcionamento gerou uma mudança de hábito com relação ao tratamento de todos os resíduos da residência, tanto com os orgânicos (restos de comida, cascas de frutas e vegetais, fezes de animais) quanto para com os resíduos recicláveis da casa que passaram a ser armazenados em embalagens maiores e dispostos para a coleta seletiva nos dias especificados pela prefeitura para recolhimento deste material.

3.1.2.3.1 Procedimentos criados para a operação

Foram criados três principais procedimentos para a operação do biodigestor: a moagem do resíduo no momento do descarte do mesmo, o acúmulo deste em um container fechado com tampa de aproximadamente três litros de volume e a inserção dos resíduos no biodigestor misturando estes com água para evitar a entrada de oxigênio e melhor homogeneização do material.

3.1.2.3.2 Acúmulo e moagem dos resíduos

Para facilitar a moagem dos resíduos, ao lado do container de descarte dos mesmos foi deixado uma tesoura e todo o resíduo descartado era imediatamente picotado no momento do descarte criando se assim o procedimento de moagem facilitando posteriormente a decomposição deste material. Os resíduos eram então acumulados até que o volume fosse totalmente preenchido ou em dias em que ocorria a limpeza da casa e então o material era disposto no biodigestor.

3.1.2.3.3 Inserção dos resíduos no sistema

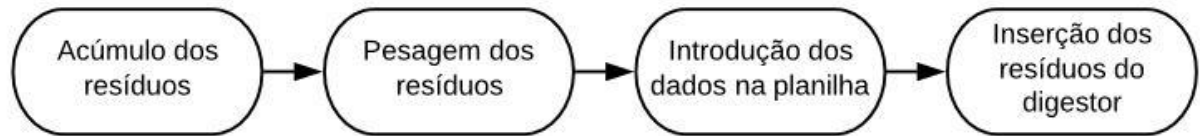
Para a inserção do material no biodigestor, os resíduos eram misturados com água, aproximadamente o mesmo volume de água do volume de resíduos, a fim de deixar este mais homogêneo, evitar a entrada de oxigênio no reator além de facilitar a entrada no sistema. O resíduo era despejado diretamente do container, não utilizando assim sacolas plásticas para a destinação dos orgânicos.

3.1.3 Geração e coleta de dados

3.1.3.1 Resíduos Orgânicos

Os dados coletados dos resíduos sólidos orgânicos inseridos no reator foram: data da inserção, caracterização do resíduo e peso do material a cada inserção do mesmo. O processo de acúmulo dos resíduos, geração de dados e inserção dos mesmos no reator é descrito pela figura com o fluxograma da FIGURA 6 abaixo.

FIGURA 6 - FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE ACÚMULO DOS RESÍDUOS ATÉ A INSERÇÃO DOS MESMOS NO BIODIGESTOR.



FONTE: (O autor deste documento).

A pesagem dos resíduos era feita em uma balança de Dayton de 1985. Para se medir o peso dos resíduos, foi medido o peso do container de 3L e descartou-se das medidas o peso deste. No exato momento da pesagem os dados eram colocados em uma planilha física no local especificamente para este fim para depois então serem plotados em uma planilha online no Google Drive no mesmo formato da TABELA 6 apresentada abaixo.

TABELA-6 TABELA DE COLETA DE DADOS DE PESO DE RESÍDUOS.

Data	Peso (kg)
dia/mês/ano	
dia/mês/ano	
dia/mês/ano	
dia/mês/ano	
dia/mês/ano	

FONTE: (O autor deste documento)

3.1.3.2 Pesagem dos resíduos

A massa dos resíduos foi determinada através de uma balança de pesagem modelo Dayton de 1985 mostrada na IMAGEM.11. Realizou-se uma calibração na balança com pesos de 0,5kg, 1kg e 3kg e calculou-se o erro quadrático médio em

suas medições de mais ou menos 0,15 kg, o qual foi levado em conta na coleta de dados de massa.

IMAGEM 11 - BALANÇA ONDE OS RESÍDUOS ERAM PESADOS PARA OBTENÇÃO DOS DADOS.



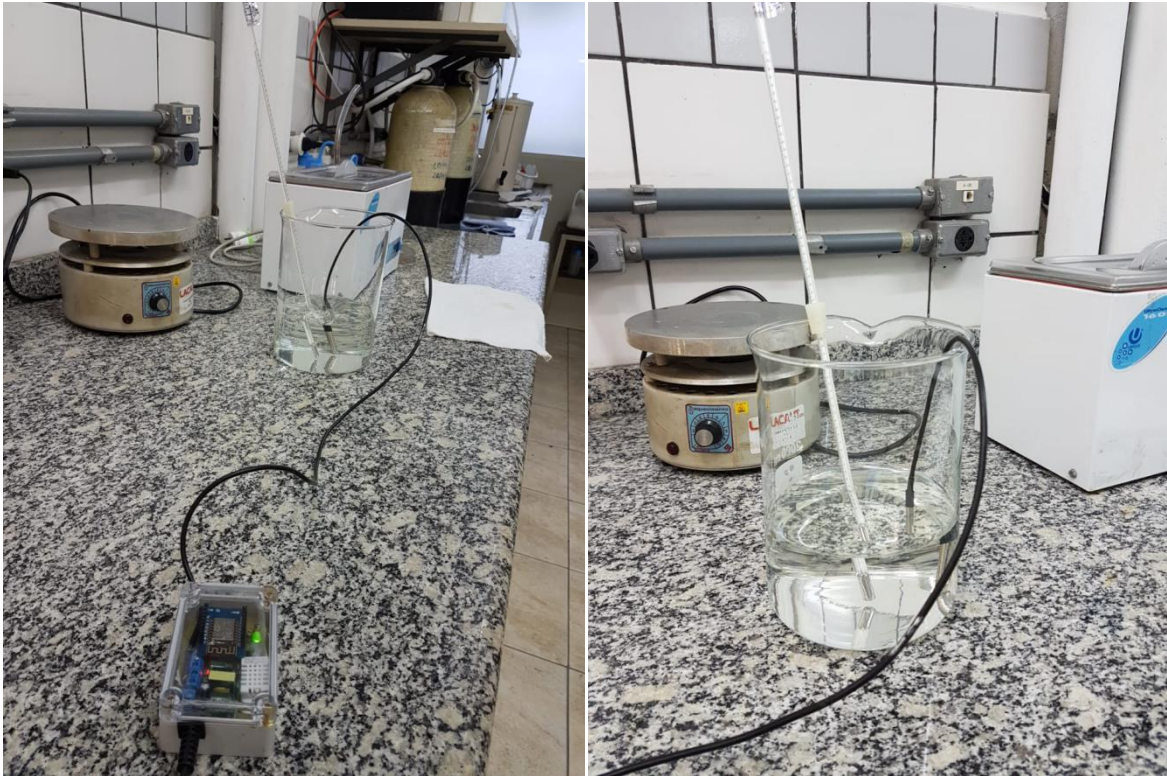
FONTE: (O autor deste documento)

3.1.3.3 Sensor de Temperatura

Para relatar a temperatura do fluido dentro do reator utilizou-se um sensor digital DS18B20 com erro médio apresentado pelo fabricante de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ e acurácia nos resultados no intervalo entre -10°C e $+85^{\circ}\text{C}$. Para certificar-se dos dados obtidos pelo sensor DS18B20, uma calibração do instrumento foi realizada no Laboratório Lab AIR da Universidade Federal do Paraná (IMAGEM 12). A calibração foi realizada através de um termômetro de líquido em vidro calibrado mostrado na IMAGEM.12. Foram feitas medidas na faixa de temperatura entre 11°C e 46°C , em ambos os termômetros através de um béquer com água. Para elevar o valor da temperatura da água utilizou-se um jarro com água com temperatura mais elevada e

foi adicionando-se água para obter os valores pelos termômetros. Foi encontrado um erro de mais ou menos $0,65\text{ C}^\circ$ em relação ao termômetro calibrado

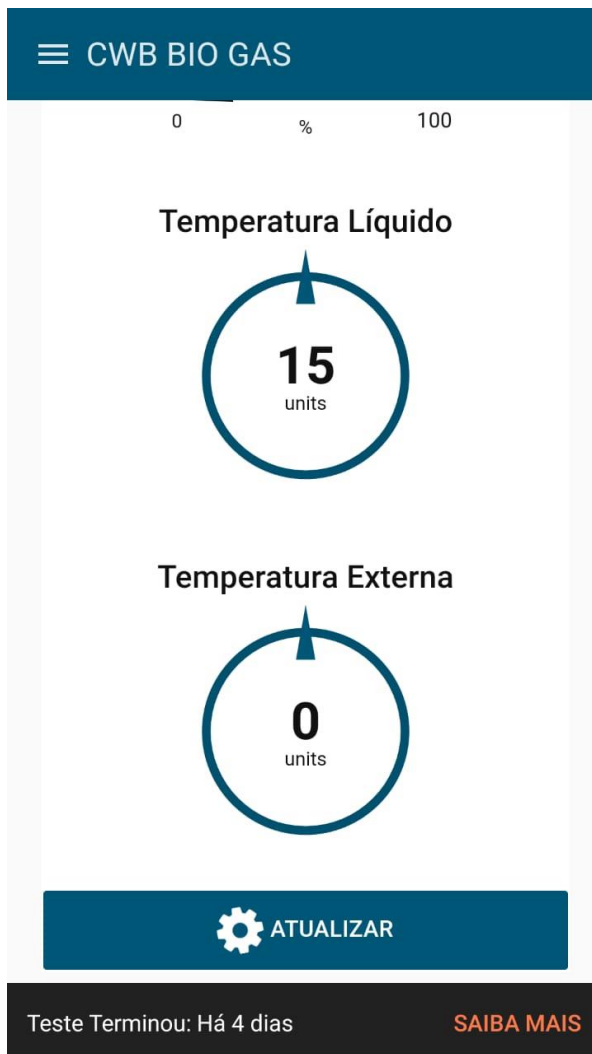
IMAGEM 12 - A ESQUERDA MOSTRA A PLACA DE COMANDO DO SENSOR INSERIDO NA ÁGUA E AO FUNDO DA MESMA IMAGEM O CABO DO SENSOR SENDO LEVADO AO INTERIOR DO BACKER. A IMAGEM A DIREITA APRESENTA O BACKER E OS TERMÔMETROS NO MOMENTO DA CALIBRAÇÃO.



FONTE: (O autor deste documento)

A FIGURA.7 apresenta como os dados de temperatura são mostrados no aplicativo do controle.

FIGURA 7 - DADOS DE TEMPERATURA DO LÍQUIDO APRESENTADOS NO APLICATIVO HERMIT DO CELULAR.



FONTE: (O autor deste documento)

3.1.3.4 Descrição do funcionamento do sistema

Durante os 7 meses de uso do sistema verificou-se o bom funcionamento do mesmo. Em nenhum momento ocorreram problemas de odor no biodigestor ou de aparente morte das bactérias e com isso a interrupção da produção do biogás mesmo o biodigestor estando exposto a condições climáticas do município de Curitiba.

3.1.3.5 Verificação de não geração de odor

Para verificação da não geração de odor do biodigestor o gás foi queimado em diferentes condições climáticas (dias de sol, nublado, com chuva e no período noturno) e em diferentes horários do dia próximo a 4 diferentes pessoas com o intuito de verificar se as pessoas identificavam odores desagradáveis possivelmente advindos do biodigestor e da presença de impurezas no conteúdo do gás. No entanto, em tais amostragens para nenhuma das pessoas presentes durante a queima do gás não foi detectado odores desagradáveis no sistema. Não foram feitas análises químicas da composição do biogás após o filtro, as quais serão incluídas nos próximos passos de análise do sistema. A IMAGEM.13 é da queima do biogás.

IMAGEM 13 - QUEIMA DO BIOGÁS



FONTE: (O autor deste documento)

3.1.4 Projeção do sistema doméstico de biogás

A projeção de geração do biogás foi feita para o sistema do presente trabalho em sua capacidade máxima de uso e também foi abordado em um cenário onde o presente sistema seria utilizado para tratar resíduos de residências em casas de vilas e condomínios na cidade de Curitiba. Com essas projeções foi possível analisar qual é o cenário em maior escala com a adesão ao sistema de tratamento dos resíduos e geração de energia renovável por parte da população da cidade de Curitiba que tem condições de ter um bioreator em seu condomínio.

3.1.4.1 Projeção de geração de biogás e biofertilizante

Para estimar a geração de biogás gerado no biorreator utilizou-se a fonte de dados da TABELA 2 de metros cúbicos de biogás gerado por quilograma de resíduos inseridos no sistema. Levou-se em conta neste trabalho que os resíduos digeridos advindos da residência são: restos de comida, resíduo de frutas, resíduo de jardim e grama e então tirou-se a média para a geração de biogás admitindo-se que estes são os principais resíduos inseridos no biorreator em uma residência.

TABELA 7: DADOS DE GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DIFERENTES TIPOS DE RESÍDUOS.

Tipo de matéria prima	Geração de biogás [m ³ /kg]	Média de geração de biogás [m ³ /kg]
Restos de comida	0,50-0,60	0,55
Grama	0,55	0,55
Resíduos de frutas	0,25-0,50	0,38
resíduos de jardim	0,20-0,50	0,35
Restos de comida e resíduos de fruta (Residências sem Jardim)		0,47
Os quatro resíduos acima (Residências com Jardim)		0,46

FONTE: (Adaptado da TABELA 2)

Para calcular a geração de biogás utilizou-se planilhas eletrônicas e a partir dos dados da TABELA.7 multiplicou-se o valor da média de geração de biogás por quilograma de resíduos gerado na residência para o caso do reator do presente trabalho e para os demais cenários apresentados abaixo.

Para mensurar a geração de biofertilizante produzido no reator utilizou-se como base os dados apresentados no trabalho de (MATOS, Camila F) a qual nos traz que o biodigestor terá uma produção média de 510 Litros de biofertilizante a cada 1 metro cúbico de resíduo orgânico inserido no sistema. Levando em conta uma densidade de 650 kg/m³ dos resíduos orgânicos temos que o kg de resíduo produzirá 0,78L de biofertilizante.

3.1.6 Investimento e retorno financeiro

O investimento e o seu retorno apresentados no trabalho serão baseados em um investimento de pessoas físicas dos condomínios e casas de vilas e não se levará em conta nesse tópico do trabalho as vantagens que a prefeitura terá com a redução dos custos de transporte de resíduos e destinação dos mesmos.

O uso sugerido do biogás seria apenas para o aquecimento de água nos condomínios, afim de garantir que qualquer instabilidade do sistema não viesse a trazer algum problema de odor para a cozinha das residências e também para garantir que a queima ocorra em um local afastado das casas e a água quente então seja distribuída para as residências.

Para verificar como será o retorno do investimento do sistema na cidade de Curitiba verificou-se que metro cúbico do biogás equivale energeticamente a 0,454 litro de gás liquefeito de petróleo (GLP), e um botijão de 13kg de GLP contém 31,5 litros do gás em estado líquido. O custo do botijão de gás em Curitiba na atualidade está em torno de R\$ 70,00 segundo o site “preço do gás” Com isso foi possível calcular o valor do biogás gerado baseado no preço do GLP que é o tipo de gás mais usual para condomínios e residências.

$$1\text{m}^3 \text{ Biogás} = 0,454 \text{ L GLP}$$

$$0,454 \text{ L GLP} = \text{R\$ } 1,00$$

Portanto 1m³ de Biogás equivale a R\$ 1,00 se este for usado como substituto de gás GLP para aquecimento de água.

3.1.6.1 Investimento financeiro

O biodigestor apresentado neste trabalho, após as melhorias feitas pela empresa CWBIOGAS estabeleceu-se com um custo de R\$ 5.000,00. O sistema de aquecimento de água com o biogás escolhido para o trabalho é o modelo JSD14 - PUXIN 7L da empresa chinesa Puxin com o custo de aproximadamente R\$ 1000,00. Sendo então o investimento financeiro total do sistema por volta de R\$ 6.000,00, admitindo que o condomínio já tem instalação prévia de sistema de água de uma central para as casas.

Levando em conta que o sistema tem capacidade de suporte para tratar o resíduo de mais de 30 pessoas, e gerar gás com este tratamento, o valor do investimento seria de R\$ 200,00 por pessoa.

3.1.6.2 Retorno do investimento

Para o cálculo do retorno do investimento do sistema é necessário verificar qual a produção de resíduos a serem digeridos e a partir destes dados determinar qual é a produção de biogás. Com esses dados e com o valor apresentado no item 3.1.6 é possível calcular qual o retorno financeiro mensal do biodigestor e em quanto tempo se dá o retorno do investimento.

3.1.6.3 Linhas de financiamento

Uma opção de linha de financiamento é a Fomento Energia. Esta é uma linha de financiamento do Governo do Paraná para a aquisição de equipamentos para geração de energia a partir de fontes renováveis ou para substituição de lâmpadas e equipamentos equivalentes para melhoria da eficiência energética.

Essa linha permite financiar a aquisição e a instalação de todos os componentes de sistemas de micro e minigeração de energia elétrica fotovoltaica, eólica ou de biomassa.

Os financiamentos da linha de crédito Fomento Energia podem ser feitos com recursos próprios da Fomento Paraná ou poderão ser captados junto a terceiros, observadas as regras e condições estabelecidas pela entidade repassadora.

3.2 PARTE 2

3.2.1 Projeções econômicas, energéticas e ambientais para Curitiba

Na segunda parte do presente trabalho, foram elaboradas projeções econômicas, energéticas e ambientais para a cidade de Curitiba visando os benefícios para os usuários do sistema, para a prefeitura da cidade e para a sociedade como um todo.

3.2.1.1 Projeção de um cenário de uso do biodigestor

Será abordado neste trabalho e realizada uma análise do cenário que conta com a inserção e adesão de biodigestores em casas de vilas e condomínios que geralmente são residências térreas com área de jardim e que contam com pessoas geralmente com maior poder aquisitivo. Em Curitiba segundo o censo demográfico de 2010 fornecido pelo IBGE as casas de vilas e condomínios contavam com 4% da população de Curitiba se encontra nesse tipo de residência contabilizando um valor de 22,439 residências e um total de 68,500 pessoas. A geração de resíduo per capita em Curitiba em 2017 foi de 0,81 kg/habitante.dia (International Finance Corporation, 2015) e desse volume, aproximadamente 37,8% é constituído por resíduos orgânicos. Com isso estimou-se que a geração diária de resíduos orgânicos por pessoa na cidade de Curitiba é de 0,3 kg/habitante.dia. Nos cenário criado será levado em conta que na atualidade em tais residências a destinação atual é para aterros sanitários com o serviço prestado pela prefeitura da cidade.

3.2.1.2 Projeção de emissões de metano não lançadas para a atmosfera com o uso do biodigestor residencial no cenário abordado

O biogás como já apresentado neste trabalho previamente, é composto majoritariamente pelos gases metano e dióxido de carbono, que são dois gases de grande relevância para o efeito estufa no estudo. Para o cálculo da emissão evitada de metano para a atmosfera iremos utilizar como base para o estudo e iremos projetar a produção de biogás com 65% de CH₄. Para fins de cálculo da massa de

metano evitado para a atmosfera consideramos a densidade do metano de acordo com a CNTP $\rho = 0,656 \text{ kg/m}^3$.

$$\text{Massa}(CH_4) = \text{Produção}(m^3) \times 0,65 \times \rho$$

Porém, as emissões de gases do efeito estufa, quando se trata de todo o processo de tratamento de resíduos do atual sistema que se dá em Curitiba não provém apenas dos aterros sanitários da cidade, mas também do transporte desses resíduos que percorrem longas distâncias para a coleta e destinação. A TABELA 8 apresenta dados do transporte dos resíduos e a TABELA 9 os valores dos resíduos aterrados em toneladas por ano pela empresa. A Estre é uma das principais responsáveis pela destinação final dos resíduos orgânicos em Curitiba.

TABELA 8 - DADOS DO TRANSPORTE DE COLETA DE RESÍDUOS DE CURITIBA DESTINADOS AO ATERRO DA ESTRE.

Município	Distância do dentro da cidade ao aterro	Toneladas de resíduos aterrados em 2014	Viagens mensais ao aterro	Quilômetros percorridos mensalmente
Curitiba	31 km	577.000	7.226	448.000

FONTE: (International Finance Corporation. Projeto de Gestão de Resíduos Sólidos de Curitiba.)

TABELA 9 - VALORES EM TONELADAS DOS RESÍDUOS ATERRADOS ENTRE 2011 E 2014 NO ATERRO DA ESTRE.

Município	2011	2012	2013	2014
Curitiba	574.000	575.000	573.000	577.000

FONTE: (International Finance Corporation. Projeto de Gestão de Resíduos Sólidos de Curitiba.)

3.2.1.3 Projeção econômica de redução de custos com a destinação de resíduos

O sistema de resíduo em Curitiba é altamente segregado e não possui uma abordagem sistemática. Esse modelo causa consequências claras sobre níveis de

eficiência, e a sobreposição de serviços de reciclagem e coleta devido a vários planos simultâneos apresenta um escopo para uma melhoria representativa no atual sistema de resíduos. A TABELA 8 apresenta um resumo financeiro dos serviços de coleta e seus custos.

TABELA 10 - RESUMO FINANCEIRO DOS SERVIÇOS DE COLETA DA CIDADE DE CURITIBA.

Tipo de Coleta	Toneladas por Ano	Custo por Ano (R\$)	Custo por Tonelada (R\$)
Coleta de resíduos	500.000	80.000.000	160

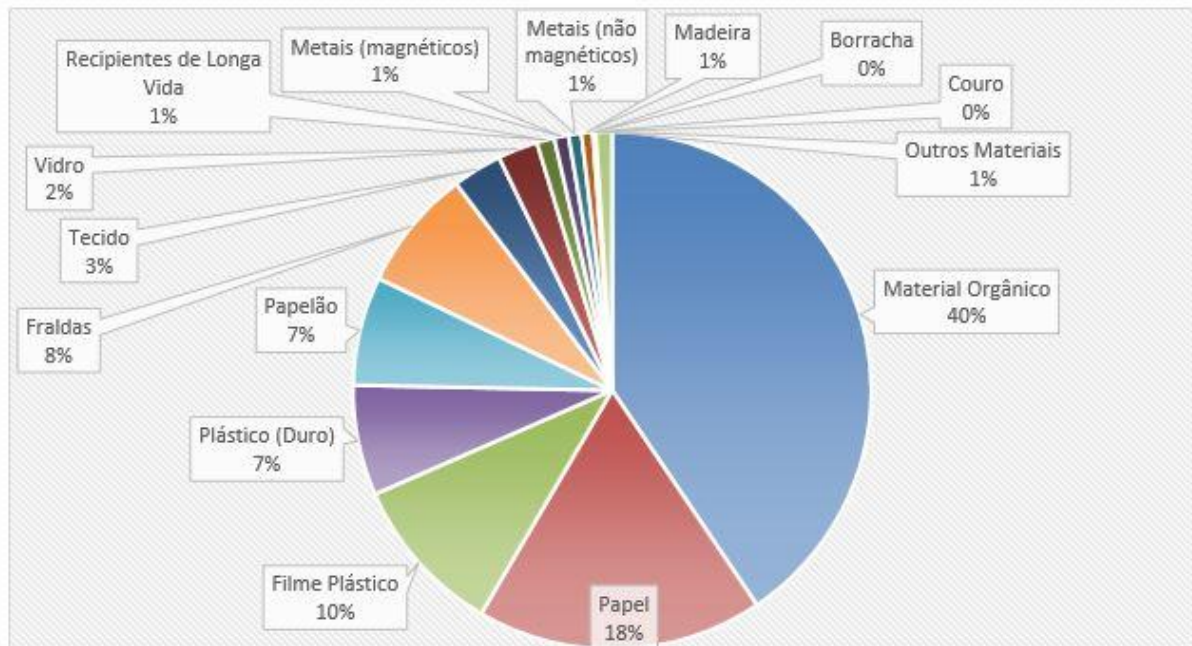
FONTE: (International Finance Corporation. Projeto de Gestão de Resíduos Sólidos de Curitiba.)

3.2.1.4 Redução de resíduos para aterros e transporte de resíduos

A projeção para o cenário com biodigestores em condomínios e casas de vilas irá gerar uma redução significativa na quantidade de resíduos enviadas para os aterros sanitários bem como o transporte dos resíduos sólidos urbanos.

Para mensurar a porcentagem de diminuição dos resíduos totais destinados a aterros sanitários será feito um cálculo da quantidade de resíduos orgânicos que irão deixar de ser enviados para esta destinação e baseado no número de pessoas da cidade e no total de resíduos este número será subtraído do total e comparado para verificar qual a porcentagem do mesmo no todo.

FIGURA 8 - COMPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS ENVIADOS AO ATERRO DA ESTRE



FONTE: (International Finance Corporation. Projeto de Gestão de Resíduos Sólidos de Curitiba. 2015)

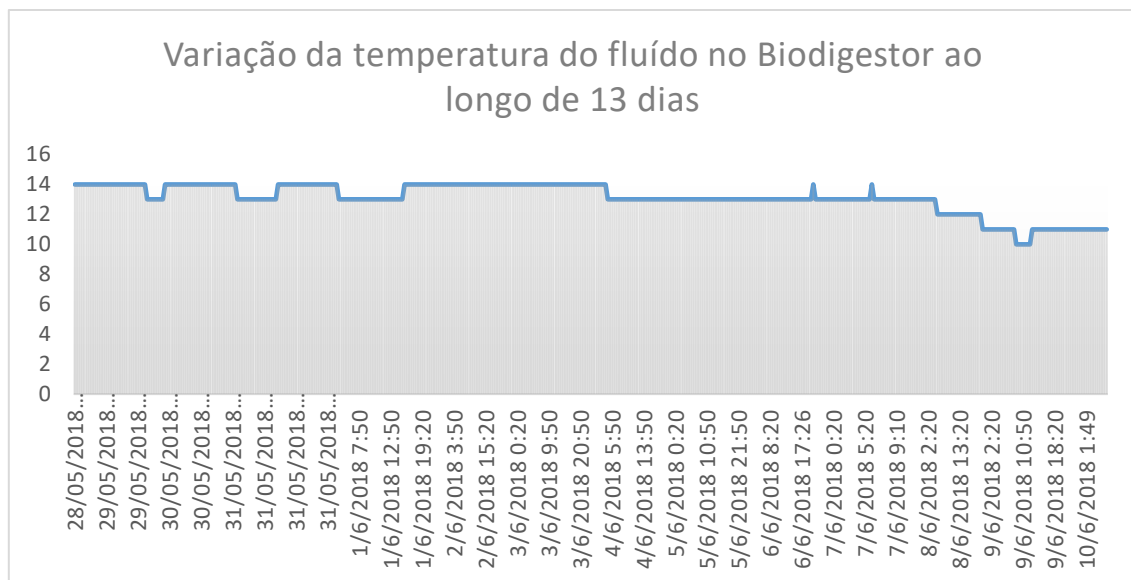
A porcentagem de resíduos orgânicos em relação ao total de resíduos destinados a aterros sanitários será comparada com os valores da TABELA 8 para se fazer o cálculo da diminuição de viagens mensais ao aterro com o novo cenário.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 TEMPERATURA DO REATOR

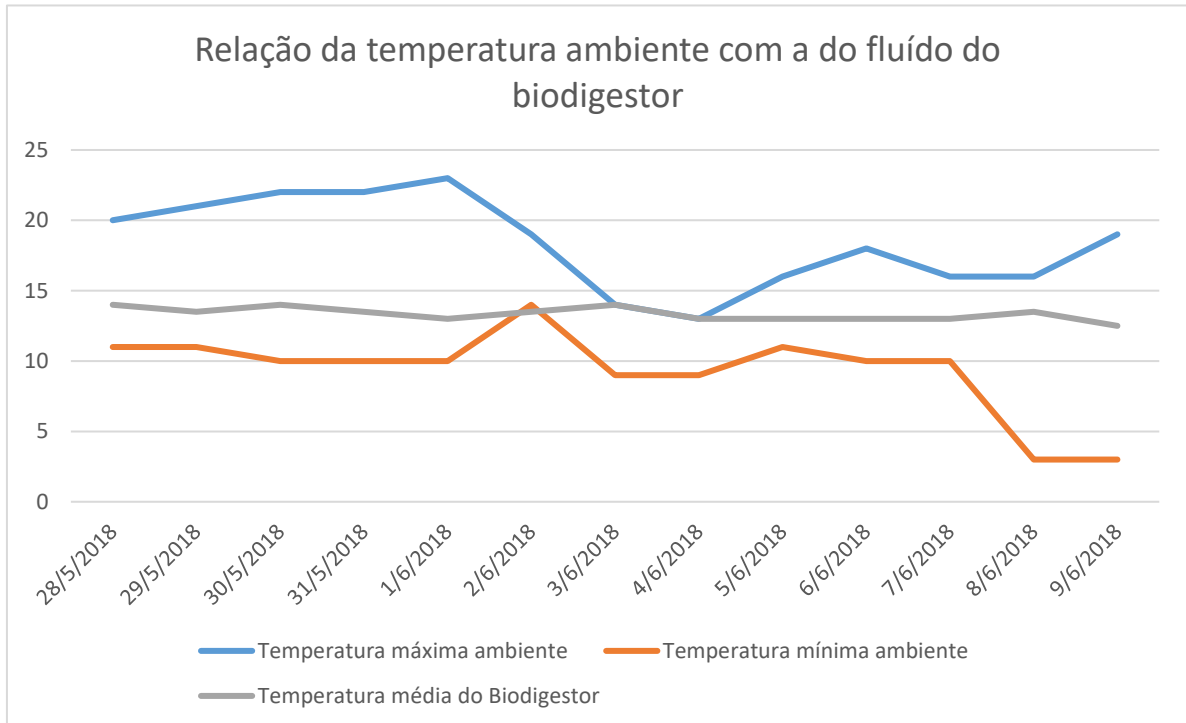
O sensor de temperatura produziu dados no reator entre os dias 28/05/2018 á 09/06/2018. Os dados abasteciam uma planilha eletrônica em um intervalo de tempo de 30 minutos 24 horas por dia. As medidas resultaram no FIGURA 9 abaixo.

FIGURA 9 - GRÁFICO DA VARIAÇÃO DE TEMPERATURA OBTIDAS PELO TERMÔMETRO INSERIDO NO BIODIGESTOR EM UM PERÍODO DE 13 DIAS COM MEDIDAS DE 30 EM 30 MINUTOS.



FONTE: (O autor deste documento)

FIGURA 10 - RELAÇÃO DA TEMPERATURA AMBIENTE MÁXIMA E MÍNIMA FORNECIDA PELO BANCO DE DADOS DO SIMEPAR COM A TEMPERATURA DO FLUÍDO.



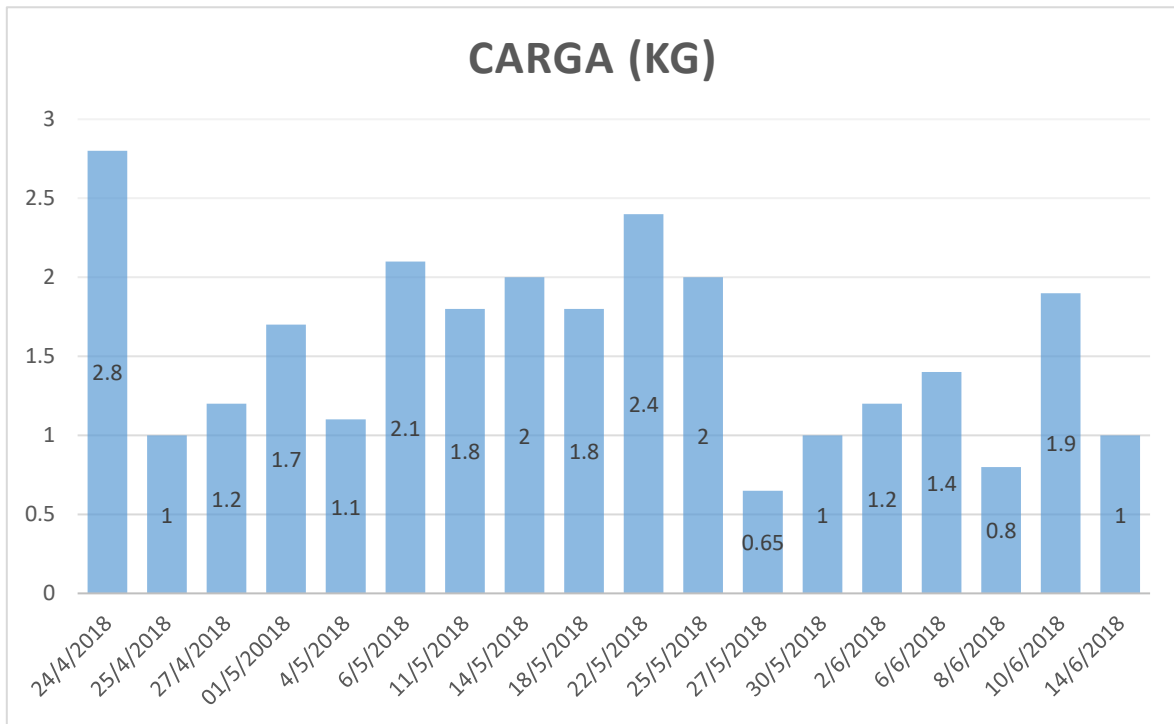
FONTE: (O autor deste documento).

No FIGURA 10 pode se observar que apesar da variação da temperatura ambiente variar a temperatura do fluido do biodigestor teve uma tendência a manter-se constante. Em uma análise crítica, vê-se a vantagem deste sistema pois não há a necessidade de automação para aquecimento do mesmo, no entanto ele é sensível a variação da temperatura com a sazonalidade e poderia ser executada uma melhoria para garantir que a temperatura do sistema mantivesse constante sem afetar assim as bactérias ativas presentes no mesmo.

4.2 GERAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS EM UMA RESIDÊNCIA DE DUAS PESSOAS

A FIGURA 11 apresenta a geração dos resíduos orgânicos em uma residência de 2 pessoas.

FIGURA 11 - CARGA DE RESÍDUOS DE UMA RESIDÊNCIA DE DUAS PESSOAS AO LONGO DE UM MÊS E VINTE DIAS.



FONTE: (O autor deste documento)

A soma total dos resíduos tratados pelo biodigestor ao longo deste período de tempo foi de 27,85 kg. Dividindo este valor pelo número de dias obteve-se que a geração diária de resíduos orgânicos na residência em questão foi de 0,55 kg por dia e logo 0,278 kg por pessoa. Este valor se aproxima do valor médio gerado por habitante na cidade de Curitiba de aproximadamente 0,3 kg/hab.dia comprovando então que para se estimar a produção de biogás nos condomínios e casas de vilas pode se utilizar este dado.

4.3 PROJEÇÃO DE GERAÇÃO DO REATOR NA SUA CAPACIDADE MÁXIMA

O reator apresentado no trabalho tem capacidade máxima de tratamento de 15 quilogramas de resíduos por dia. A TABELA 11 apresenta uma projeção da capacidade de tratamento de resíduos por ano, geração de biogás por dia e por ano, e produção máxima de biofertilizante por dia e por ano.

TABELA 11 - PROJEÇÃO DE GERAÇÃO EM CAPACIDADE MÁXIMA DE UM BIODIGESTOR RESIDENCIAL DE 2M³.

Biodigestor 2m	
Capacidade máxima de tratamento por dia [kg]	15
Capacidade máxima de tratamento por ano [kg]	5475
Geração máxima de biogás por dia [m ³]	6,9
Geração máxima de biogás por ano [m ³]	2518,5
Produção máxima de biofertilizante por dia [L]	11,7
Produção máxima de biofertilizante por ano [L]	4270,5
Economia com gás mensal comparado ao GLP [R\$/mês]	209,875
Economia com gás anual comparado ao GLP [R\$/ano]	2518,5

FONTE: (O autor deste documento)

A projeção apresentada na TABELA.11 apresenta dados interessantes e que promovem a viabilidade do biodigestor de 2m³ em escala residencial. O sistema além de tratar 15 kg de resíduos diariamente pode gerar uma quantidade significativa de biogás o qual pode ser útil para os moradores do condomínio sendo que o gás de cozinha ou para aquecimento de água faz parte do cotidiano do Curitibano. A geração de biofertilizante é interessante e pode ser utilizada nos jardins dos condomínios levando em conta que há áreas para uso desses fertilizantes e assim não há necessidade de fazer investimentos para melhorar a qualidade das plantas. A economia anual do condomínio pode chegar a R\$ 2518,00, um bem que pode ser visto como uma importante redução nas despesas das residências, sem contar na questão da segurança energética que o sistema provém.

4.4 RETORNO DO INVESTIMENTO

O reator se utilizado em sua capacidade máxima pode gerar até R\$ 2518,50 de economia para os residentes dos condomínios que aderirem ao sistema para o aquecimento de água como substituto do gás GLP. Nessa análise não foram considerados os custos de operação e manutenção do sistema ao longo de sua vida útil.

O tempo de retorno do investimento é determinado pelo tempo em que o investimento do sistema será pago pelos benefícios que o mesmo está trazendo para o condomínio. No caso do reator apresentado juntamente com o aquecedor de água totalizando um investimento de aproximadamente R\$ 6.000,00 (TABELA 12).

TABELA 12 - RETORNO DO INVESTIMENTO DE UM BIODIGESTOR DE 2M³ COM GERAÇÃO DE BIOGÁS EM SUA CAPACIDADE MÁXIMA.

Investimento [R\$]	Retorno Financeiro mensal [R\$]	Tempo de retorno do investimento [meses]
6.000,00	207,00	29

FONTE: (O autor deste documento).

O tempo de retorno do investimento se mostrou bastante interessante, sendo que o investimento inicial é pequeno quando dividido em 30 pessoas como proposto na metodologia para o uso do biodigestor em seu potencial máximo. Em geral, o setor de energia renovável tende a ser custoso no Brasil e ainda poucas pessoas atualmente no país tem condições financeiras para investir em energias renováveis descentralizadas para suas residências. Os biodigestores de pequeno porte aparecem como uma ótima oportunidade para tratamento dos resíduos *in loco* gerando energia e trazendo benefícios ao consumidor bem como segurança energética.

4.5 PROJEÇÃO DE GERAÇÃO DO CENÁRIO DE TRATAMENTO IN LOCO PARA CONDOMÍNIOS E CASAS DE VILA

A projeção do tratamento dos resíduos orgânicos in loco para condomínios e casas de vila, os quais correspondem a 4% da população, ou seja 68.500 pessoas, pode ser observada na TABELA 13.

TABELA 13 - PROJEÇÃO DE EFEITO DO USO DE 1370 BIODIGESTORES POR 68500 PESSOAS .

	68.500 habitantes
Geração de resíduos orgânicos diariamente [kg/dia]	20550
Geração de resíduos orgânicos anual [Toneladas/ano]	7500,75
Geração máxima de biogás por dia [m ³ /dia]	9453
Geração máxima de biogás por ano [m ³ /ano]	3450345
Produção máxima de biofertilizante por dia [L]	16029
Produção máxima de biofertilizante por ano [L]	5850585
Sistemas utilizados para atender a demanda [Unidades de biodigestores]	1370
Investimento [R\$]	8220000
Retorno financeiro anual [R\$]	3450345
Metano reaproveitado por ano [Toneladas/ano]	1471,22

FONTE: (O autor deste documento)

4.6 REDUÇÃO DE RESÍDUOS DESTINADOS PARA ATERRO E TRANSPORTE

Baseado nos valores apresentados na TABELA.9, contabilizou-se uma redução diária de 20,5 toneladas não destinadas a aterros sanitários e um valor anual de 7500,75 toneladas. Esse valor comparado ao resíduo destinado anualmente ao aterro da Estre no ano de 2014 contabilizando 577.000 toneladas no ano representa uma redução anual de 1,30% de resíduos destinados para este fim.

Este valor de redução de 1,30% pode ser estendido para o transporte dos resíduos sólidos urbanos. Isso representa ao final de um ano de coleta uma redução

de 1.127 viagens ao aterro em um ano, o que representa uma redução de 69.888 Km rodados ao longo do ano. Esses dados apontam uma redução de extrema importância na quantidade caminhões rodando bem como em reduções significativas nas emissões de gases poluentes advindos dos caminhões das empresas de coleta seletiva.

4.7 REDUÇÃO NOS CUSTOS COM A DESTINAÇÃO DOS RESÍDUOS

Levando em conta os custos da coleta seletiva apresentados na TABELA.10 onde a tonelada do resíduo destinado têm um custo de R\$160,00 e o valor de 7500,75 toneladas de resíduos não destinadas aos aterros pode-se avaliar que a prefeitura teria uma redução de despesas de R\$ 1.200.120,00 por ano com o novo cenário apresentado.

CONCLUSÃO

Com o presente trabalho pode-se concluir que a biodigestão anaeróbia em pequena escala para condomínios e casas de vilas é uma opção viável e que pode trazer benefícios não somente para a comunidade que utiliza o sistema bem como para a sociedade como um todo. Concluiu-se que os reatores de pequeno porte distribuídos para residências que os usem em conjunto podem trazer números relevantes para a mitigação do efeito estufa levando em conta o uso do metano como fonte energética para o aquecimento de suas residências e também a diminuição do tráfego de caminhões de coleta de resíduos orgânicos. Os sistemas de tratamento *in loco* além de colocarem valor nos resíduos orgânicos, ao contrário do que é visto pela sociedade hoje, também geram subprodutos como o biofertilizante que incentiva o aumento de áreas verdes nas cidades e a geração de energias renováveis. Percebeu-se também que esta é uma opção bem econômica de energias renováveis que resolve dois problemas, a questão dos resíduos sólidos e também da segurança energética. Os reatores anaeróbios possibilitam um maior tempo de vida dos aterros e abrindo espaço para o uso dos aterros para outros resíduos que tem maior relevância para serem destinados nos mesmos.

Foi possível com este trabalho mostrar que é aplicável o uso de biodigestores residenciais. Com isso os usuários se beneficiam com a geração de gás e biofertilizantes, a prefeitura com a economia dos recursos destinados ao tratamento dos resíduos sólidos e o meio ambiente com a redução de emissões atmosféricas advindas do processo de coleta e tratamento dos resíduos como um todo.

REFERÊNCIAS

ABiogás. **Proposta de Programa Nacional de Biogás e do Biometano PNB**. Disponível em:

<https://docs.wixstatic.com/ugd/e3a792_c21f5cd0dafa4a0997ef62fd84d94806.pdf>
Acesso em 02 jun. 2018

Advances in poultry litter disposal technology--a review. - NCBI. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12058828>> Acesso em 25 mar. 2018

Agência Nacional de Energia Elétrica. **Resolução normativa no482, de 17 de abril de 2012**. Disponível em <<http://www2.aneel.gov.br/cedoc/ren2015687.pdf>> Acesso em 15 mar. 2018

Alibaba Vendas. **Household Instant Biogas Water Heater**. Disponível em <https://puxinbiogasappliances.en.alibaba.com/product/60455602095-802899479/Household_Instant_Biogas_Water_Heater.html?spm=a2700.icbuShop.prwdfa4cf.1.62a84d95sQZEf0> Acesso em 02 jun. 2018

Al Seadi, T. (2001). **Good practice in quality management of AD residues from biogas production**. Report made for the International Energy Agency, Task 24- Energy from Biological Conversion of Organic Waste. Published by IEA Bioenergy and AEA Technology Environment, Oxfordshire, United Kingdom

Al Seadi, T., Rutz, D., Prassl, H., Köttner, M., Finsterwalder, T., Volk, S. and Janssen, R. (2008). **Biogas handbook**. Esbjerg: University of Southern Denmark Esbjerg.

Battelle. **Environmental Technology Verification Report, Land combustion model, LANCOM series II – Portable Emission Analyzer**. Disponível em: <https://archive.epa.gov/nrmrl/archive-etv/web/pdf/01_vr_land.pdf> Acesso em 30 mai. 2018

BGS – Equipamento para Biogás. **Produtos – Biodigestor**. Disponível em: <<http://bgsequipamentos.com.br/produto/detalhes?id=80&m=2>> Acesso em 13 jun. 2018

Biogas – Renewable Energy Association. **Dryholme Farm**. Disponível em: <<http://www.biogas.org.uk/plants/dryholme-farm>> Acesso em 26 mai. 2018

Câmara do Governo. **Projeto de Lei**. Disponível em <http://www.camara.gov.br/proposicoesWeb/prop_mostrarintegra?codteor=1431855> Acesso em 15 jun. 2018

CiBiogás – Energias renováveis. **Copel e Itaipu fomenta projetos de microgrids no oeste do Paraná**. Disponível em <<https://cibiogas.org/projetomicrocid>> Acesso em 19 jun. 2018

Comastri Filho, J. (1981). **Biogás, independência energética do pantanal Mato-Grossense**. Brasília: EMBRAPA.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Ficha de Informação de Produto Químico**. Disponível em: <http://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=METANO> Acesso em 20 mai. 2018

Diário oficial da união - Seção 1 - **Resolução N° 8 de 30 de Janeiro de 2015** - ISSN - 1677 - 7042
<http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=02/02/2015&jornal=1&pagina=100&totalArquivos=156>

FANG, Cheng; ANGELIDAKI, Irini; BOE, Kanokwan. **Biogas production from food processing industrial wastes by anaerobic digestion**. Denmark: Technical University of Denmark (DTU), 2010.

FERRER, Ivet; GARFI, Marianna; UGGETTI, Enrica; FERRER-MARTÍ, Laia; CALDERON, Arcaido; VELO, Enric. **Biogas production in low-cost household digesters at the Peruvian Andes**. Disponível em <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953410004940?via%3Dihub>> Acesso em 10 mai. 2018

Flipper- Tecnologia em Fiberglass Ltda. **Fundamentos da Digestão Anaeróbia**. Disponível em: <<http://atividaderural.com.br/artigos/4e9daadae639a.pdf>> Acesso em 29 mar. 2018

Fomento Paraná. **Fomento energia**. Disponível em: <<http://www.fomento.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=272>> Acesso em 10 jun. 2018

HELD, Jörgen; MATHIASSEN, Anders; NYLANDER, Anders. **Green Gas Handbook**. Disponível em <<http://www.greengasgrids.eu/fileadmin/greengas/media/Markets/Sweden/BiogasinfoEngGodaExempel.pdf>> Acesso em 03 mai. 2018

Homebiogas. **Products - HomeBiogas 2.0**. Disponível em <<https://homebiogas.com/shop/buy-the-homebiogas-system/>> Acesso em 02 jun. 2018

Hydra. **Manual de Instalação, Operação e Manutenção**. Disponível em: <<http://images.walmart.com.br/manuais/550060.pdf>> Acesso em 02 jun. 2018

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidade de Curitiba**. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/curitiba/panorama>> Acesso em 3 abr. 2018

Instituto de Pesquisa de Curitiba (IPPUC). **População de Curitiba: Nosso Bairro/ Centro**. Disponível em: < <http://www.ippuc.org.br/nossobairro/anexos/01-Centro.pdf> > Acesso em 10 jun. 2018.

International Finance Corporation. **Projeto de Gestão de Resíduos Sólidos de Curitiba**. Disponível em: <<https://www.ifc.org/wps/wcm/connect/86723b0049e2748d8a64abe54d141794/LAC+Brochura+Residuos+Solidos+de+Curitiba.pdf?MOD=AJPERES>> Acesso em 27 mai 2018

Komecco. **Manual do usuário**. Disponível em <https://www.komecco.com.br/fmanager/komecco2017/manuais_produtos/arquivo15_1.pdf> acesso em 11 jun. 2018

LAO Indústria. **Medidores de Gás**. Disponível em <<http://laoindustria.com.br/images/uploads/Medidores%20de%20Gás.pdf>> Acesso em 14 mai. 2018

LIMA, Ana C. PASSAMINI, Fernanda C. **Avaliação do potencial energético do biogás produzido no reator uasb da ETE-UFES**. 106 f. Bacharel (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Espírito Santo, 2012.

MATOS, Camila F. **Produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico convencional de produção**. 66 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento de Engenharia Agrícola e Ambiental, 2016

Motta, F. (1986). **Produza sua energia biodigestores anaeróbios**. 1st ed. Pernambuco.

Observatório de Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Avaliação da política municipal de gestão integrada de resíduos sólidos urbanos de Curitiba**. Disponível em: <<https://cidadesslixozero.files.wordpress.com/2017/08/relatc3b3rio-curitiba-2017-atualizado.pdf>> Acesso em 15 mai. 2018

OKAMURA, Layssa A. **Avaliação e melhoria do poder calorífico de biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos**. 110 f. Dissertação (Mestrado) – Departamento acadêmico de química e biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2013

OLIVEIRA, Rafael. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono**. 106 f. Bacharel (Trabalho de Conclusão de Curso) – Departamento de Engenharia Elétrica da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2009.

Preço do Gás. **Botijão de gás 13kg em Curitiba**. Disponível em: <<https://www.precodogas.com.br/botijao-de-gas-13kg/curitiba>> Acesso em 29 mai. 2018

Scarlat, N., Dallemand, J. and Fahl, F. (2018). Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*, 129, pp.457-472.

Siqueira. **Digestão Anaeróbia.** Disponível em: <<http://www.ctec.ufal.br/professor/elca/Digestão%20anaeróbia.pdf>> Acesso em 18 mar. 2018

SOUZA, J; BORBA, A. P.; CARDOSO, M. L.; COELHO, M. A. A.; SCHAEFFER, L. Planta para compressão e tratamento de biometano In: **3º Congresso Internacional De Tecnologias Para O Meio Ambiente.** 2012, Bento Gonçalves. Disponível em <<http://www.proamb.com.br/downloads/ucd5ni.pdf>> Acesso 08 jun. 2018

VAN HAANDEL, A.C., LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbio de esgotos. Um manual para países de clima quente, Campina Grande:** Epgraf, 1994.

SCHERER, Leandro; BULHÕES, Ronaldo; ROJO, Claudia. A viabilidade financeira do biogás como fonte alternativa de energia para consumidores industriais de Itaipulândia - PR In: **4º Congresso brasileiro em gestão de negócios 2016.** ISSN 2316-1973