

FACULDADE GURGACZ - FAG
WAGNER EDGAR BASSI

TESTE DO USO DE BIOGÁS
PARA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO RECICLADO

CASCATEL - PR
2017

WAGNER EDGAR BASSI

**TESTE DO USO DE BIOGÁS
PARA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO RECICLADO**

Trabalho apresentado para obtenção parcial de nota, à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz.

Professor Orientador: Ms Eliseu Avelino Zanella Junior

**CASCADEL – PR
2017**

FOLHA DE APROVAÇÃO

WAGNER EDGAR BASSI

TESTE DO USO DE BIOGÁS PARA FUNDIÇÃO DE ALUMÍNIO RECICLADO

Trabalho de Conclusão de Curso II apresentado para obtenção do grau de Engenheiro, do curso de Engenharia Mecânica, do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz - FAG.

Prof. Orientador Ms. Eliseu Avelino Zanella Junior

Prof. Ms. Geovane Duarte Pinheiro

Prof. Ms. Sergio Henrique Mota

Cascavel, 14 de dezembro de 2017.

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida, autor do meu destino, meu guia, socorro presente na hora da angústia.

Ao meu pai Edgar Alberto Bassi e minha mãe Maria Nelda Matias Bassi, com carinho e gratidão.

AGRADECIMENTOS

Aos Professores Eliseu Avelino Zanella Junior e Geovane Duarte Pinheiro, José Claudio Terra Silveira e demais professores da equipe de docentes do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz pela orientação, e seu grande desprendimento em me ajudar durante o curso.

Aos Profissionais do Núcleo de Atendimento ao estudante do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz pela atenção e paciência na resolução de problemas.

A administração da Granja São Pedro – Colombari, em São Miguel do Iguaçu/PR, por ceder recursos vitais para realização do trabalho.

Aos profissionais da CIBIOGÁS pela troca de experiências principalmente dicas que foram utilizadas no decorrer do trabalho.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

Este estudo apresenta uma comparação entre o poder calorífico do biogás em relação ao uso do Gás Liquefeito de Petróleo - GLP na fundição de alumínio oriundos do processo de reciclagem de resíduos de latas, realizado por meio de coleta seletiva e pela destinação realizada em aterros sanitários. O objetivo do estudo é testar o uso de biogás para fundição de alumínio reciclado, comparando com o GLP e outras fontes de energia, propiciando uma pesquisa e desenvolvimento de métodos que reduzam os gastos no processo de fundição e o respeito às normas ambientais. Assim, se tem como objetivos específicos: construir um forno que utilize como combustível Biogás e GLP, construir um biodigestor para geração de biogás e comparar o uso de biogás em relação ao uso de GLP na fundição de alumínio reciclado. Foi realizada a comparação obtendo os resultados que atestam o uso do biogás, pois mesmo ele sendo de menor poder calorífico, ele possui como característica ser energia renovável e contribuir para a produção de reciclagem com ampliação da sustentabilidade, o que torna viável o desenvolvimento do uso de biogás em atividades de fundição na industrialização dos reciclados de alumínio.

Palavras-chaves: Energia, Sustentabilidade, Desenvolvimento.

ABSTRACT

This study presents a comparison between the calorific value of biogas in relation to the use of LPG in the aluminum smelting from the recycling process of can waste by means of selective collection and by the disposal of landfills. The objective of the study is to analyze the feasibility of the use of biogas to recycle aluminum smelting, comparing with LPG and other energy sources, providing a research and development of methods that reduce the expenses in the smelting process and respect to environmental standards, thus taking as specific objectives to build a furnace that uses as biogas and LPG fuel, to construct a biodigester for biogas generation and to compare the use of biogas in relation to the use of LPG in the smelting of recycled aluminum. After the difficulties of accomplishment of the experiment were overcome, the results obtained were satisfactory, since even being the biogas of lower calorific value, it has the characteristic character of being renewable energy and contribute to the production of recycling with the increase of sustainability, which makes the development feasible of the use of biogas in foundry activities in the industrialization of aluminum recycling.

Keywords: Energy, Sustainability, Development.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1: Cúpula de biodigestor canadense.....	10
Figura 2: Modelo de biodigestor indiano	11
Figura 3: Modelos de biodigestores alemães.	12
Figura 4: Biodigestor Chinês.	12
Figura 5: Índice de Reciclagem de Latas de Alumínio	15
Figura 6: Fluxo da reciclagem de sucata de lata de bebida	16
Figura 7: Biodigestor de Metz.....	18
Figura 8: Biodigestor após o primeiro teste de produção.....	19
Figura 9: Galpões criadouros	19
Figura 10: Lagoas e biodigestores.....	20
Figura 11: Biodigestor II	21
Figura 12: Biodigestor Canadense na Granja Colombari.....	22
Figura 13: Forno e cadinho para testes.....	23
Figura 14: Compressor usado na experiência	24
Figura 15: Reduções e eletroduto	24
Figura 16: Eletroduto ligado a entrada de ar do compressor	25
Figura 17: Compressor ligado ao maçarico do Forno	25
Figura 18: Alumínio fundido dentro do cadinho.....	27
Figura 19: Alumínio fundido sendo pesado após os testes.	27

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1: Contexto histórico do biogás.....	5
Tabela 1: Propriedades típicas de biogás de aterro, biogás de biodigestor e gás natural.	13
Tabela 2: Propriedades típicas de biogás de aterro, biogás de biodigestor e gás natural.	14
Tabela 3: Peças usadas no biodigestor.....	17
Tabela 4: Tempo de fundição com biogás.....	29
Tabela 5: Tempo de fundição com GLP	29
Tabela 6: Resultado comparativo dos combustíveis	29
Tabela 7: Comparativa de 1m ³ de Biogás com combustível	30
Tabela 8: Especificação para o Biometano.....	32
Tabela 9: Comparativo de valores do m ³ de biogás.	32

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio

ABRALATAS - Associação Brasileira de Produtores de Lata de Alumínio

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ANEEL - Agência Nacional de Energia Elétrica

CH₄ - Metano

C₀₂ - Dióxido de carbono

CIBIOGÁS - Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás

GLP - Gás Liquefeito do petróleo

H₂ - Hidrogênio

H₂O - Água

H₂S - Sulfeto de hidrogênio

IAI - International Aluminium Institute

NH₃ - Amônia

PME - Programa de Mobilização Energética

Plano ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono

pH - Potencial Hidrogeniônico

PVC - Policloreto de Vinila

PCS - Poder Calorífico Superior

PCI - Poder calorífico Inferior

PR - Paraná

P13 - Botijão de gás de 13 quilos

SLP - Sistema De Levantamento De Preço

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.1.2 Objetivo Geral	2
1.1.2.1 Objetivos Específicos	2
1.2 JUSTIFICATIVA	2
1.3 PROBLEMATIZAÇÃO	3
1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA	4
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1 BIODIGESTOR	8
2.1.1 Biodigestor canadense	9
2.1.2 Biodigestor indiano	10
2.1.3 Biodigestor alemão	11
2.1.4 Biodigestor Chinês	12
2.3 AS PROPRIEDADES DO BIOGÁS	13
2.3.1 Variação do poder calórico do biogás	14
2.4 ALUMÍNIO RECICLADO	15
3 METODOLOGIA	17
3.1 CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS	17
3.2 FORNO PARA FUSÃO E CADINHO	22
3.3 COMPRESSOR	23
3.4 TESTE	25
3.4.1 GLP	26
3.4.2 Biogás	26
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1 BIODIGESTOR	28
4.2 FORNO	28
4.3 TESTE	28
4.4 CUSTOS COMPARATIVOS	30
4.4.1 GLP	30
4.1.2 Gás Natural	30
4.1.3 Eletricidade	30
4.1.4 Biometano	31

4.1.5 Biogás	32
5 CONCLUSÃO.....	33
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
PESQUISAS INFOGRÁFICAS	Erro! Indicador não definido.
ANEXOS	39

1 INTRODUÇÃO

Segundo dados da Associação Brasileira do Alumínio – ABAL (2017), hoje a reciclagem de alumínio no Brasil funciona com altíssimos índices de eficácia, acima da média mundial, reciclando praticamente toda a sucata disponível. Em 2015, o país reciclou 602 mil toneladas de alumínio.

Buscando alternativas mais econômicas e ecológicas para a reciclagem de alumínio, foi identificado o uso do biogás para substituição das atuais fontes energéticas que não são renováveis e poluidoras, como o gás natural, o GLP e o óleo queimado. No uso de eletricidade para fundição dos reciclados podemos destacar seus aumentos de custos frequentes. Segundo o Ministério de Minas e Energia, em sua publicação denominada Resenha Energética Brasileira em 2017, 56% da energia elétrica produzida no Brasil vem de fonte não renovável.

Portanto, a transformação e aproveitamento de recursos podem transformar o que é considerado lixo ou material orgânico sem valor, em combustível para promover o desenvolvimento, tornando-se objeto de estudo em muitas pesquisas científicas. Assim, este estudo busca encontrar soluções para as questões relacionadas ao lixo orgânico e a produção de gás a partir do uso de biodigestor e forno, a fim de transformar resíduos orgânicos em energia, que pode movimentar uma fundição de resíduos de alumínio descartados nos aterros ou adquiridos por meio de coleta seletiva.

1.1 OBJETIVOS

1.1.2 Objetivo Geral

Teste do uso de biogás para fundição de alumínio reciclado, comparando com o GLP e outras fontes de energia, propiciando uma pesquisa e desenvolvimento de métodos que reduzam os gastos no processo de fundição e o respeito às normas ambientais.

1.1.2.1 Objetivos Específicos

- Construir um forno que utilize como combustível Biogás e GLP;
- Construir um biodigestor para geração de biogás;
- Comparar o uso de biogás em relação ao uso de GLP na fundição de alumínio reciclado.

1.2 JUSTIFICATIVA

A indústria de reciclagem de metais utiliza o processo de fundição por eletricidade, gás liquefeito de petróleo, gás natural e, em alguns casos mais rudimentares, óleo queimado para fazer a fundição de alumínio em fornos, visando deixar o processo de fundição mais ecológico e econômico. Esta pesquisa traz a utilização do biogás gerado por biodigestores como forma alternativa a ser aplicada na indústria siderúrgica.

O biogás e o biodigestor apresentam grandes vantagens sobre outras formas de obtenção de energia. De acordo com Roy *et al* (2011), do ponto de vista ambiental, o biogás proveniente de aterros sanitários, confinamentos de animais e indústrias alimentícias ou qualquer outro setor que gerem resíduos orgânicos, tem seu uso defendido por toda parte do mundo, pelo fato deste poluir muito menos a atmosfera, ajudando assim a desacelerar o aquecimento global. Há quem acredite que esse tipo de gás não emite poluentes, porém, sabe-se que o Biogás é também um emissor de Dióxido de Carbono (CO₂) ou Gás Carbônico. Para muitos, isto põem em dúvida a real vantagem do biogás. É importante ter consciência de uma molécula de metano absorve com uma eficiência 23 vezes maior os raios infravermelhos que uma molécula de gás carbônico (JEREMY L, 1992), o que apresenta uma vantagem em

relação aos combustíveis fósseis, pois se queima o Metano para gerar energia o transformado em Dióxido de Carbono reduzindo a aquecimento global.

Do ponto de vista industrial, há uma incessante busca por novas tecnologias que venham a complementar a matriz energética, visto que biogás é uma tecnologia renovável e de fácil implementação em relação a outras fontes, além de poder ser empregada como uma fonte ambígua, pois o biogás pode ser utilizado como uma fonte de calor, na geração de energia elétrica ou, se tratado e transformado em biometano, vem a ser utilizado em veículos e caldeiras.

Além disso, sanitariamente, ao usar biodigestores para coleta de dejetos humanos e animais, contribui-se com o saneamento no segmento de saúde pública, uma vez que esses dejetos carregam micro-organismos parasitas (ROYA, 2011).

No entanto, há que se considerar que estas pesquisas datam da segunda metade do século XX, pois durante a Guerra Fria, a China pulverizou biodigestores por temer ataques que pudessem paralisar as suas atividades econômicas e industriais, isto permitiu descentralizar a energia e impedir que seus inimigos conseguissem conquistar a paralisação do país (COLDEBELLA, 2006).

Assim, ao observar as qualidades do biogás e dos biodigestores, venho a justificar o uso dos mesmos como outra fonte de energia para fusão de alumínio reciclado.

1.3 PROBLEMATIZAÇÃO

Para definir se o biogás é uma energia renovável capaz de fundir alumínio reciclado de forma ecológica, algumas questões devem ser respondidas:

- O calor gerado pelo biogás tem capacidade de fundir alumínio com ponto de fusão de 660,3°C?
- Que tecnologias podem ser empregadas para melhorar o rendimento do biogás na fundição de metais?

Além de responder estas questões e aos objetivos gerais e específicos, esta pesquisa também deverá responder outras questões que surgirão durante o processo de desenvolvimento da mesma.

1.4 DELIMITAÇÕES DA PESQUISA

O forno foi desenvolvido para funcionar com gás liquefeito de petróleo e biogás, porém, como não foram feitas mudanças estruturais no mesmo pelo pouco tempo para o desenvolvimento da pesquisa e o baixo orçamento empregado, foi utilizada a comparação empírica entre as fontes de energia para os gases, o óleo queimado e energia elétrica apenas com base nas teorias.

A estrutura do forno e do biodigestor foram pautadas no orçamento da pesquisa, e consideraram a melhor avaliação dos materiais utilizados, valorizando a qualidade e o baixo custo. O alumínio reciclado tem origem na região de Cascavel, composto por latas, tubos, cavacos da indústria metal mecânica e peças condenadas por desgaste ou quebra. Assim, foi utilizado o alumínio reciclado de fácil acesso para a pesquisa que reduziu suas despesas.

Os graus de pureza do alumínio após a fundição não foram levados em consideração, pois, necessitam de reagentes químicos para a retirada de borras e escórias, sendo que esse não é o enfoque da pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O biogás é uma forma de combustível proveniente de resíduos sólidos ou líquidos, de origem rural, urbano ou industrial, que vem sendo estudado e desenvolvido ao longo dos anos como uma possibilidade na geração de energia.

A evolução histórica do biogás pode ser relatada cronologicamente de acordo com o Quadro 1.

Quadro 1: Contexto histórico do biogás

1667	O “gás dos pântanos”, como era chamado, foi descoberto por Shirley.
1776	O físico italiano Alessandro Volta reconheceu a presença de metano e sua propriedade no “gás dos pântanos” onde realizou experimento no lago Maior situado entre as fronteiras de Itália e Suíça.
Século XIX	Ulisse Gayon, aluno de Louis Pasteur, realizou fermentação anaeróbica de uma mistura de estrume e água, a 53° C, conseguindo obter 100 litros de gás por m³ de matéria orgânica
1857	Patel instalou, ainda na Índia, o primeiro Biodigestor de sistema contínuo, o que aponta Bombaim como o berço do biodigestor. Na mesma época, na cidade de Exeter, na Inglaterra, o biogás foi utilizado para iluminação pública.
1884	Louis Pasteur, ao apresentar à Academia das Ciências os trabalhos de seus alunos, considerou que o gás resultante da fermentação feita por Gayon poderia ser uma fonte de aquecimento e iluminação. Nessa época, pesquisadores como Fischer e Schrader, na Alemanha e Grayon, na França, entre outros, estabeleceram as bases teóricas e experimentais da biodigestão anaeróbia.
1890	Donald Cameron projetou uma fossa séptica para a cidade de Exeter, Inglaterra, sendo o biogás produzido utilizado para iluminação pública. Ainda no mesmo ano, Van Senu verificou que a decomposição anaeróbia era feita por vários microrganismos e Omeliansui isolou organismos que produziam hidrogênio, ácido acético e butírico, a partir da celulose. Deduziu também que o metano seria produzido a partir da redução do gás carbônico por hidrogênio, é desse cientista a fórmula: $4H_2 + CO_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$.
1910	Sohnngen verificou que a fermentação de materiais orgânicos produzem compostos reduzidos como hidrogênio, ácido acético e gás carbônico. Demonstrando que ocorre a redução de CO_2 para a formação de metano e que o ácido acético é descarbonizado para fermentação de metano. O processo de degradação das matérias orgânicas acontece por microrganismo que tem quatro etapas que são hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.
1940	Durante a II Guerra Mundial, quando a escassez e dificuldade de acesso a fontes fósseis de combustível reacenderam o interesse pela utilização do biogás, tanto para o cozimento e aquecimento de casas, como para a alimentação de motores de combustão interna. No entanto, após o término do conflito, o uso deste combustível ficou geograficamente remanescente na China e Índia, onde permanece sendo utilizado por pequenos produtores rurais até os dias de hoje.
Década de 1970	O Brasil iniciou suas pesquisas com biogás
1979	Na Granja do Torto em Brasília, foi construído um dos primeiros biodigestores do país.
1980	Criação do Programa de Mobilização Energética – PME, a estimular a instalação de biodigestores em propriedades rurais. Na época foram instalados cerca de 7 mil

	biodigestores nas regiões sul, sudeste e centro-oeste.
2000	Com o advento do mercado de créditos de carbono que mobilizou recursos para a construção de biodigestores, em especial em propriedades rurais com criação de suínos de médio e grande porte, visando à coleta e combustão do biogás. No contexto do mercado de créditos de carbono, os gases gerados pelos dejetos expostos, em geral em lagoas ou esterqueiras abertas, e não coletados, quando emitidos para atmosfera contribuem negativamente para o aumento do efeito estufa ou aumento da temperatura da Terra.
2005- 2013	Estima-se que foram instalados no Brasil cerca de 1.000 biodigestores considerando os incentivos financeiros dos créditos de carbono.

Fonte: Adaptado pelo autor de MARINHO, 2017.

De acordo com Soares e Silva (2010), muitas iniciativas aconteceram ao longo dos anos, porém, este tipo de combustível acabou sendo relegado a um segundo plano, passando a ser um complemento de fontes tradicionais de energia, como o carvão e o petróleo. Em países como China e Índia, atingindo o expressivo número de aproximadamente 10 milhões de biodigestores nos dois países, com uso principal para iluminação, cozimento e aquecimento domiciliares.

No Brasil, o uso e aproveitamento do biogás foi motivado pela crise do petróleo, porém, com o crescimento da necessidade e o aproveitamento dos créditos de carbono, foram mobilizados recursos para a construção de biodigestores em propriedades rurais com criação de suínos de médio e grande porte, visando à coleta e combustão do biogás.

No aproveitamento de créditos de carbono, os gases gerados pelos dejetos animais expostos em lagoas ou esterqueiras abertas que não são coletados, quando emitidos para atmosfera, contribuem negativamente para o aumento do efeito estufa ou aumento da temperatura da terra. No entender de Gonçalves *et al* (2006), aplicam-se os recursos dos créditos de carbono no desenvolvimento de tecnologias que minimizem o efeito dos dejetos, sendo o biodigestor uma destas tecnologias.

A evolução tecnológica que envolve o desenvolvimento da produção de biogás no Brasil apresenta grande potencial energético e vem sendo gradativamente implementado nos ambientes rurais, pois são disponibilizados incentivos especiais para a construção e aquisição de biodigestores por meio de programas, como: Programa Agricultura de Baixo Carbono, Programa ABC e o Pronaf ECO, para agricultura familiar (SOARES e SILVA, 2010).

Atualmente, a instalação de biodigestores e o uso de biogás é uma tecnologia bastante avançada, conhecida, desenvolvida e com um grande potencial de aplicação no mundo, como na China e Índia, onde já vem sendo adotado a mais de meio século, e, em especial, no Brasil, país que cuja identidade é o agronegócio e ainda possui um pequeno

número de unidades instaladas quando comprado como os países asiáticos citados (TAGORE, 2006).

Conforme Chernicharo (1997), a digestão anaeróbia é um processo de tratamento de materiais orgânicos que se desenvolve na ausência de oxigênio e, simultaneamente, uma opção energética com reconhecidas vantagens ambientais. Um dos benefícios do processo, que logo contribuiu para um crescente interesse por esta tecnologia, reside na conversão da maior parte da carga poluente do efluente numa fonte energia: o biogás.

Neste tipo de digestão ocorre um processo em que alguns microrganismos, que atuam na ausência de oxigênio, atacam a estrutura de materiais orgânicos complexos, produzindo compostos simples, como o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2), assim, microrganismos asseguram a energia e os nutrientes necessários para o seu próprio crescimento e reprodução (SANCHEZ *et al*, 2005).

Os microrganismos produtores de metano são sensíveis à variação de temperatura, sendo recomendado se assegurar a sua estabilidade, seja através do aquecimento interno ou pelo melhor isolamento térmico da câmara de digestão durante os meses de inverno. Este ponto é bastante crítico, pois, nos meses de inverno é que se apresenta uma maior demanda por energia térmica e uma tendência dos biodigestores em produzirem volumes menores de biogás causados pelas baixas temperaturas (CHERNICHARO, 1997).

O metano, principal componente do biogás, não tem cheiro, cor ou sabor, mas outros gases presentes conferem-lhe um ligeiro odor de vinagre ou de ovo podre. Para o seu uso como combustível, deve-se estabelecer uma relação entre o biogás e o ar, para permitir uma queima eficiente. O biogás, por ser extremamente inflamável, pode ser simplesmente queimado para reduzir o efeito estufa (o metano apresenta um poder estufa cerca de 21 vezes maior que o CO_2) ou aproveitado para uso doméstico, motores de combustão interna, sistemas de geração de energia elétrica ou térmica (GUYOT, 1997; OLIVEIRA, 2003).

A presença de vapor d'água, CO_2 e gases corrosivos (H_2S) no biogás *in natura* constitui-se no principal problema para a viabilização de seu armazenamento e na produção de energia. Equipamentos mais sofisticados, a exemplo de motores à combustão, geradores, bombas e compressores têm vida útil extremamente reduzida. A remoção de água, H_2S e outros elementos através de filtros e dispositivos de resfriamento, condensação e lavagem, é imprescindível para a viabilidade de uso em longo prazo. O esforço desenvolvido pela indústria brasileira na adaptação e desenvolvimento de equipamentos para o uso do biogás é ainda muito pequeno, sendo necessário colocar a disposição dos produtores serviços, materiais e equipamentos mais adequados e confiáveis (LA FARGE, 1995).

2.1 BIODIGESTOR

O biodigestor realiza um processo de transformação a partir de uma sequência bioquímica de metabolismo, no entanto, uma série de fatores interferem nessa transformação, entre eles a temperatura, o pH, as concentrações de sólidos e a composição do substrato que alimenta o processo. Para Kunz, Perdomo e Oliveira (2004), a biodigestão anaeróbia é um processo conhecido há muito tempo e seu emprego na produção de biogás para a conversão de energia é muito popular nos países asiáticos, como a China e a Índia.

O sucesso da digestão depende do balanceamento entre as bactérias que produzem gás metano a partir dos ácidos orgânicos, e este é dado pela carga diária (sólidos voláteis), alcalinidade, pH, temperatura e qualidade do material orgânico, ou seja, da sua operação de transformação (OLIVEIRA *et al*, 2005).

De acordo com La Farge (1995), a formação de zonas de curto circuito dentro do biodigestor e o isolamento das bactérias de contato com a mistura em biodigestão, durante a fase de metanogênese, também são fatores que diminuem a eficiência do sistema e contribuem para o assoreamento precoce do biodigestor e redução de sua vida útil. A agitação da biomassa no biodigestor pode amenizar estes problemas.

O processo de biometanização envolve a conversão de biomassa em metano sobre condições anaeróbias. Esta conversão do complexo orgânico, composto de metano e dióxido de carbono, requer uma mistura de espécies bacterianas. Dependendo da temperatura em que o processo está acontecendo, o tratamento de resíduos orgânicos é basicamente de três tipos: a biometanização com temperatura entre 45–60°C é considerada termofílica; a que ocorre entre as temperaturas de 20–45°C é a mesofílica; e a digestão anaeróbia de matéria orgânica em baixas temperaturas (<20°C) é referida como digestão psicrófila (OLIVEIRA *et al*, 2005).

A maioria dos biodigestores anaeróbios têm sido projetados na faixa mesófila, embora também seja possível a operação destes na faixa termófila. Entretanto, a experiência da operação de digestões anaeróbios nesta faixa não tem sido totalmente satisfatória, existindo ainda muitas questões a serem esclarecidas, dentre elas, se os benefícios advindos superam as desvantagens, incluindo o suplemento de energia necessário para aquecer os digestores, a má qualidade do sobrenadante e a instabilidade do processo (CHERNICHARO, 1997).

A partida de um biodigestor é tarefa de fundamental importância, haja vista que, se esse processo for mal conduzido, o êxito de funcionamento do reator será prejudicado ou mesmo frustrado (SANCHEZ *et al*, 2005).

O início da operação de um biodigestor está intimamente ligado à sequência das transformações metabólicas do processo de biodigestão anaeróbia, que é uma fermentação lenta, implicando na ocorrência de um intervalo de tempo, às vezes muito longo, até que atinja a estabilidade de funcionamento, isto é, equilíbrio harmônico entre seus diferentes estágios (LA FARGE, 1995).

A geração de biogás no interior de um biodigestor é um processo termodinâmico, no qual o balanço de energia deve ser considerado, mudanças bruscas na temperatura podem afetar o desempenho da digestão adversamente (SOUZA, 2001).

A perda total de calor da superfície de interface dos dejetos para os envoltórios do biodigestor, no espaço onde se acumula o biogás produzido, ocorre por processos de condução, convecção e radiação (AXAPOULOS *et al*, 2001). Outra causa de mudança súbita da temperatura é o aumento simultâneo na concentração de todos os ácidos graxos voláteis, especialmente o acético e o propiônico. A extensão do impacto depende de fatores como a magnitude da mudança de temperatura aplicada, o tempo de exposição e a composição bacteriana do substrato (VAN LIER, SANZ MARTIN e LETINGA, 1996; VISSER, GAO e LETINGA, 1993).

Segundo Massé, Masse e Crouteau (2003) e Oliveira *et al* (2005), o desempenho do biodigestor anaeróbio diminui significativamente quando a temperatura operacional cai de 20°C para 10°C. Em fazendas, bioreatores podem estar sujeitos a flutuações de temperatura devido a grandes variações na temperatura do ar ambiente. Sendo assim, é necessário o aquecimento do substrato em digestão, para uma maior uniformidade na temperatura do substrato e conseqüentemente maior eficiência do biodigestor.

A percepção de que os biodigestores com grandes volumes (biomassa) produzem altas quantidades de biogás, nem sempre é verdadeira, entretanto, o dimensionamento do biodigestor deverá ser compatível com o tempo de residência hidráulica, a temperatura da biomassa, carga de sólidos voláteis e as demandas necessárias (OLIVEIRA *et al*, 2005).

Existem diferentes tipos de biodigestores que representam as necessidades culturais e biológicas de diferentes lugares no mundo, os biodigestores mais comuns são o canadense, indiano, chinês e alemão.

2.1.1 Biodigestor canadense

O biodigestor modelo Canadense é um modelo horizontal, que adota a caixa de carga em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, possuindo, portanto, uma área maior

de exposição ao sol, o que possibilita numa grande produção de biogás e contribui para evitar que ocorra entupimento. Durante a produção de gás, a cúpula do biodigestor infla porque é feita de material plástico maleável (PVC), podendo ser retirada. O maior empecilho deste equipamento é o alto custo da cúpula. A figura 1 apresenta um modelo de biodigestor canadense usado comumente na região.

Figura 1: Cúpula de biodigestor canadense.

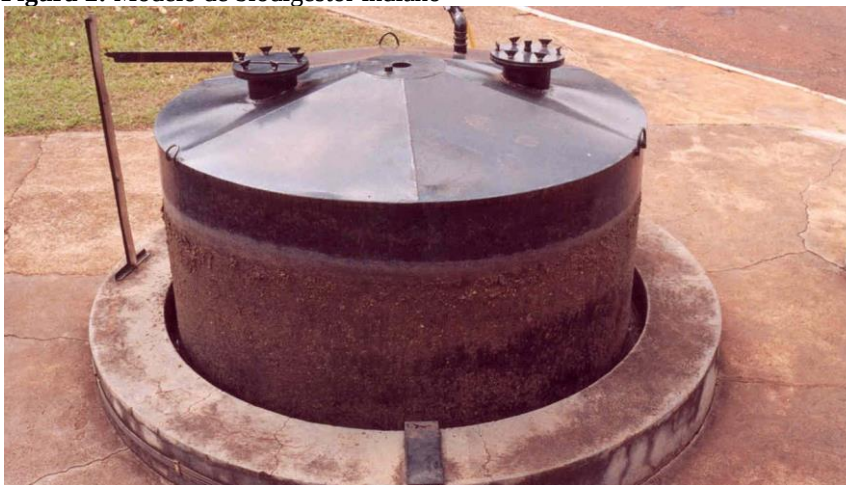


Fonte: <https://www.ecycle.com.br>, 2013

2.1.2 Biodigestor indiano

O biodigestor Indiano possui um processo de fermentação rápida, com sua cúpula de ferro ou de fibra, aproveita a temperatura do solo, que é pouco variável e favorece a ação das bactérias. Este tipo de biodigestor ocupa pouco espaço e a construção é subterrânea, o que não exige reforço de cinta de concreto nas suas bases de caixas de depósito. É construído em alvenaria e conta com um depósito de dejetos, uma caixa do biodigestor e uma câmara de produção e coleta do gás na superior do biodigestor. A figura 2 apresenta um biodigestor de modelo indiano.

Figura 2: Modelo de biodigestor indiano



Fonte: <https://www.cpt.com.br/2017>

2.1.3 Biodigestor alemão

O biodigestor alemão pode ser usado para o tratamento e aproveitamento de diferentes resíduos orgânicos, tais como: dejetos de animais, os resíduos do setor da agricultura e resíduos sólidos orgânicos urbanos. Neste processo todos os dejetos são coletados e em um fermentador

Os resíduos da agricultura aumentam a capacidade de geração de biogás do biodigestor, por isso seu uso é recomendável. Este tipo de resíduos sólidos orgânicos são heterogêneos e exigem que seja realizada uma higienização com o objetivo de eliminar germes. A escolha do substrato varia de acordo com a oferta, devendo-se identificar a origem deste substrato para evitar que o biofertilizante que resulta do processo venha a contaminar o solo ou proliferar doenças na propriedade.

Neste caso, é recomendada a análise química do biofertilizante antes de utilizar em aplicações de correção do solo. Além disso, é importante controlar as temperaturas, o PH e a homogeneidade do substrato utilizado. Essa medida garante que o restante de matéria orgânica presente no substrato seja quase que totalmente decomposta e o biogás resultante do processo seja devidamente coletado. A figura 3 apresenta um modelo de biodigestor alemão.

Figura 3: Modelos de biodigestores alemães.



Fonte: <http://www.portaldobiogas.com>, 2017

2.1.4 Biodigestor Chinês

O biodigestor modelo Chinês, representado na figura 4, foi desenvolvido voltado para as pequenas propriedades rurais. É um modelo de peça única, construído em alvenaria e enterrado no solo, para ocupar menos espaços. Este modelo tem o custo mais barato em relação aos outros, pois sua cúpula também é feita em alvenaria. A figura abaixo demonstra um modelo de biodigestor chinês.

Figura 4: Biodigestor Chinês.



Fonte: <http://www.hydor.eng.br>/2017

Assim, existem diferentes tipos de biodigestores que geram gás com potenciais caloríficos diversos, pois isto depende do substrato que é usado na geração do gás.

2.3 AS PROPRIEDADES DO BIOGÁS

As propriedades do biogás vêm sendo estudadas e caracterizadas por meio de experiências com diferentes tipos de substratos, o que permite classificar o poder calorífico do biogás. De acordo com Okamura (2013), existem três tipos de produção classificados de acordo com o substrato utilizado: o biogás de aterro, o biogás de biodigestor e o gás natural. Assim, apresenta-se na tabela 1 as propriedades típicas do biogás classificados pelos tipos de substrato.

Tabela 1: Propriedades típicas de biogás de aterro, biogás de biodigestor e gás natural.

Características	Unidade	Biogás de aterro	Biogás de biodigestor	Gás natural
Poder Calorífico Inferior	MJ/kg	12,3	20	48
Densidade	kg/Nm ³	1,3	1,1	0,82
Densidade relativa -	-	1,1	0,9	0,63
Índice de Wobbe	MJ/Nm ³	18	27	55
Número de metano**	-	>130	>135	73
Metano (CH₄)	Vol. - %	45	65	90
CH₄ (faixa variável)	Vol. - %	35 - 65	60 - 70	85 - 92
Hidrocarbonetos pesados	Vol. - %	0	0	9
Hidrogênio (H₂)	Vol. - %	0 - 3	0 -	-
Dióxido de carbono (CO₂)	Vol. - %	40	35	0,7
CO₂ (faixa variável)	Vol. - %	15 - 40	30 - 40	0,2 - 1,5
Nitrogênio (N₂)	Vol. - %	15	0,2	0,3
N₂ (faixa variável)	Vol. - %	5 - 40	-	0,3 - 0,1
Oxigênio (O₂)	Vol. - %	1	0	-
O₂ (faixa variável)	Vol. - %	0 - 5	-	-
Gás sulfídrico (H₂S)	ppm	<100	< 500	3,1
H₂S (faixa variável)	ppm	0 - 100	0 - 4000	1,1 - 5,9
Amônia	ppm	5	100	-
Cloro total (como Cl-)	mg/Nm ³	20 - 200	0 - 5	-

**Indica a capacidade antidetonante do gás, comparados com a octanagem da gasolina.

Fonte: Adaptado de SGC, 2012, *apud* OKAMURA, 2013.

A diversidade de substrato para a formação de gases no biodigestor, interfere na intensidade ou na amenização das interações físico-químicas e biológicas que ocorrem no interior do biodigestor durante o tempo de compostagem, interferindo também na composição do biogás. Estudos químicos comprovam que o biogás é composto por metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), amônia (NH₃), hidrogênio (H₂), gás sulfídrico (H₂S) e nitrogênio (N₂), no entanto, estes elementos químicos apresentam diferentes concentrações que são variáveis e, por isso, contribuem para classificar a qualidade do biogás e seu poder calorífico, pois essas variações determinam o pH e a temperatura que o biogás pode alcançar (SALOMON, 2007).

2.3 1 Variação do poder calorífico do biogás

De acordo com os estudos de Okamura (2013), ao se referir aos sistemas de combustão, pode-se liberar energia através de combustível (sólido, líquido ou gasoso), que ao ser queimado pode-se determinar o poder calorífico, ou seja, determinar a quantidade de energia liberada pela combustão completa em uma quantidade utilizada do mesmo, podendo esta medida ser apresentada em unidade de massa ou volume.

Salomon (2007) explica que o poder calorífico divide-se em superior (PCS) e inferior (PCI). O PCS considera o calor latente de condensação da água, ou seja, a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado. Já no PCI esse valor não é considerado. O poder calorífico de um gás combustível é de grande importância econômica no abastecimento de gás.

Para determinar o poder calorífico realizam-se cálculos a partir da determinação da composição do combustível e o calor de combustão (poder calorífico) dos elementos que o compõe quando puro, pois o calor de combustão de um composto combustível é quase igual aos calores de combustão dos compostos que o compõe multiplicados pela sua porcentagem (volumétrica, molar ou mássica) na mistura em questão (OKAMURA, 2013).

De modo geral, os gases possuem Poder Calorífico Superior (PCS) e Poder Calorífico Inferior (PCI), conforme se apresenta na tabela 2:

Tabela 2: Propriedades típicas de biogás de aterro, biogás de biodigestor e gás natural.

Composto	PCS (kcal/kg)	PCI (kcal/kg)
Hidrogênio	(H ₂) 34400	29000
Monóxido de carbono	(CO) 2440	2440
Metano	(CH ₄) 13250	11900
Etileno	(C ₂ H ₄) 12000	11230
Acetileno	(C ₂ H ₂) 12000	11600

Fonte: Adaptado de JOSÉ, 2004

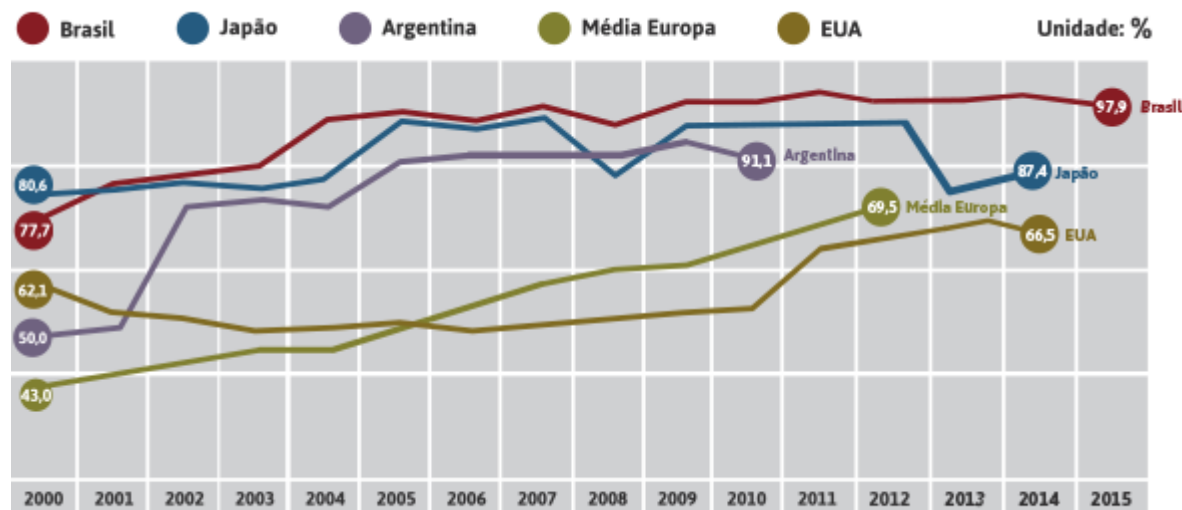
Desta forma, de acordo com Okamura (2013), entende-se que do poder calorífico dos gases depende a quantidade de biogás necessária para as atividades indústrias, como as fundições, por exemplo. A escolha do tipo de aplicação para o biogás produzido será determinada sempre pelo poder calorífico, que é indicada pela quantidade de gás necessário para uma atividade industrial.

2.4 ALUMÍNIO RECICLADO

A reciclagem de alumínio se confunde com a implantação da indústria do metal no país. Na década de 1920, data dos primeiros registros de produção de utensílios de alumínio em território nacional, o setor utilizava como matéria prima a sucata importada de vários países. Nos anos 1990, com o início da produção das latas no Brasil, a reciclagem do metal foi intensificada, registrando volumes cada vez maiores (BERNHARDT, 2016).

A reciclagem de alumínio no Brasil funciona com altíssimos índices de eficácia, acima da média mundial, reciclando praticamente toda sucata disponível. A relação entre este volume e o consumo doméstico de alumínio indica um percentual de 35,2%, que é superior a média mundial de 29,9% (ano-base 2014). Em 2015, o país reciclou 602 mil toneladas de alumínio. Desse total, 292,5 mil toneladas referem-se à sucata de latas de alumínio para bebidas, o que corresponde a 97,9% do total de embalagens consumidas em 2015, índice que mantém o Brasil na liderança mundial desde 2001 (ABAL, 2017).

Figura 5: Índice de Reciclagem de Latas de Alumínio



Fonte: Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade.

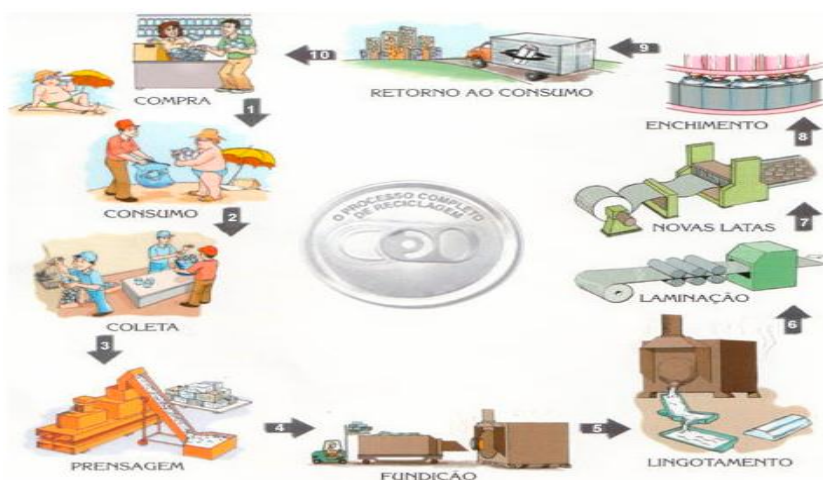
A reciclagem do alumínio alia uma combinação única de vantagens. Dentre seus benefícios, podem ser destacados a importância da atividade no aspecto sustentável da indústria do alumínio, representado pela economia de energia elétrica e da bauxita (minério que origina o alumínio primário), e a geração de renda a um número de famílias que vivem da atividade (BERNHARDT, 2016).

O processo de reciclagem utiliza apenas 5% da energia elétrica e, segundo dados do International Aluminium Institute (IAI), libera somente 5% das emissões de gases de efeito estufa, quando comparado com a produção de alumínio primário. O processo diminui o volume de lixo gerado que teria como destino os aterros sanitários. Também estimula a consciência ecológica, incentivando também a reciclagem de outros materiais, seja devido ao seu elevado valor residual ou mesmo por meio de programas de educação ambiental (BERNHARDT, 2016).

A sucata de alumínio pode ser empregada na fabricação de itens para vários segmentos, como os de embalagens, construção civil, indústria automotiva e bens de consumo, e serve também como matéria prima para indústria siderúrgica, na forma de desoxidante. Essa é a grande vantagem do alumínio, que sai da cadeia depois de utilizado e pode ser reaplicado em diferentes segmentos, gerando ganhos para todo o ciclo. Esta sucata provém da produção de manufaturados, constituída de resíduos industriais que são reincorporados, e do descarte pela obsolescência de produtos acabados e bens de consumo, no qual a lata de alumínio para bebidas é o maior exemplo (ABAL, 2017).

Segundo a ABRALATAS (2017), esse processo constitui um ciclo produtivo praticamente estanque. No Brasil, quase a totalidade do alumínio empregado na produção de chapas, que se tornam latas acaba retornando à produção de chapas ou de outros produtos de alumínio. O fluxo da reciclagem de sucata de lata de bebida, até a fabricação de uma nova lata para bebida, é esquematizado na figura abaixo.

Figura 6: Fluxo da reciclagem de sucata de lata de bebida



Fonte: Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade.

3 METODOLOGIA

Visto responder a questão se o biogás é efetivo para fazer a fusão do alumínio e quais suas vantagens em relação ao gás liquefeito de petróleo, neste tópico será demonstrada a metodologia para efetuar a pesquisa.

3.1 CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS

De acordo com Souza, Lucas Junior, Ferreira (2005), a construção de um biodigestor eficiente não exige a aplicação da agitação do substrato, pois isto não é significativo para a produção do biogás. O autor utilizou um agitador manual e outros estudos também utilizaram agitadores automatizados, sem sucesso na intensificação de produção do biogás. Assim, neste estudo foi dispensado o agitador.

Desta forma, foi construído um biodigestor com as peças descritas por Metz (2013), Tabela 3 apenas retirando o agitador manual, da mesma forma, não se optou por um biodigestor de bancada, por considerar que este apresenta um pequeno volume de produção de biogás, tendo sido elaborado um biodigestor maior, com mais potência e facilidade de construção.

Tabela 3: Peças usadas no biodigestor.

Componente	Medida	Quantidade
Bombona plástica	250 litros	1
Flange PVC	Ø 20 mm	2
Válvula esfera PVC soldável	Ø 20 mm	2
Válvula esfera PVC roscada	Ø 20 mm	1
Cotovelo 90° PVC	Ø 20 mm	1
Adaptador PVC fêmea Roscado	Ø 20 mm	1
Tê 90° PVC soldável marrom	Ø 20 mm	1
Tubo PVC	Ø 20 mm	1
Redutor roscado	Ø 20 mm	1
Mangueira transparente	Ø 1/8"	4 metros
Espigão	Ø 1/8"	2
Cola para tubos PVC	-----	1
Cola de silicone	-----	1

Fonte: Adaptado de Metz (2013).

A Figura 7 apresenta o modelo de biodigestor criado por Metz (2013), que serviu de modelo para a construção do biodigestor deste estudo.

Figura 7: Biodigestor de Metz



Fonte: METZ (2013)

Após a construção dentro do espaço cedido na fazenda escola do Centro Universitário da Fundação Assis Gurgacz, foi coletado dejetos de porco em uma fazenda de agricultura familiar próximo a Lindoeste – PR. Apesar do foco da propriedade ser em granja de frangos, há um pequeno confinamento de porcos para consumo estando eles em diversos estágio de crescimento, com uma alimentação variada entre milho e vegetais encontrados na propriedade.

Foram escolhidos os dejetos de porcos pelo fato de seu biogás ser o que contém maior nível de ácido sulfídrico, que ocasiona maior deterioração dos metais, gerando assim um maior nível manutenção dos equipamentos.

O biodigestor foi preenchido com 50 kg de dejetos suínos e 170 litros de água, visto que há diversas literaturas que falam proporções diferentes, sendo assim, foi utilizada a mesma proporção indicada por Metz (2013).

Aproximadamente 1 hora após a carga do biodigestor observou-se que houve produção de biogás com a abertura da válvula e a movimentação do manômetro. Porém, com o decorrer de 14 dias, houve uma produção pequena e variável, visto que coluna de água do manômetro se movimentava, demonstrando um aumento da pressão e declínio da mesma. Verificou-se uma baixa produção, o que exigiu que fossem tomadas algumas medidas, tais como: foi refeita a vedação do biodigestor, para solucionar possível vazamento; e colocado um aviso para não mexer, a fim de evitar que pessoas curiosas abrissem a válvula. Estas duas medidas contribuiriam para justificar a oscilação de produção. Porém, após 7 dias não foi constatada uma alteração significativa no processo.

A figura 8 apresenta o biodigestor com vedação e aviso como medida de intervenção preventiva para a baixa produção de biogás.

Figura 8: Biodigestor após o primeiro teste de produção



Fonte: Autor, 2017

A busca pela compreensão dos processos de biodigestão conduziu visitas em biodigestores instalados na região. Uma Cooperativa agrícola concedeu uma visita ao biodigestor de uma Unidade de Produção de Leitão, que produz 70 mil leitões ao ano e que, por motivos estratégicos de mercado, solicitou que não fosse identificada.

As Figuras 9 e 10 apresentam a vista aérea da Cooperativa visitada, apresentando os oito galpões criadouros de leitões, duas lagoas de dejetos dos suínos e dois biodigestores do tipo canadense.

Figura 9: Galpões criadouros



Fonte: Google Map

Figura 10: Lagoas e biodigestores.



Fonte: Google Map

Durante a visita foram observadas as condições do biodigestor, onde é produzido o biogás e qual a finalidade de seu uso. O biogás produzido é usado na produção de energia elétrica, onde um motor de carro, junto ao gerador de energia efetua o trabalho, porém, foi informado pelo responsável que a manutenção do motor acontece a cada 4-5 meses, mas não soube informar os valores de produção de biogás e nem gastos e lucros relacionados ao mesmo. Ao final da visita, o responsável pela cooperativa de leitões forneceu uma amostra dos dejetos utilizados na produção de biogás para uma nova tentativa.

O responsável mostrou interesse e fez perguntas sobre o trabalho que estava desenvolvendo e quais mudanças poderiam ser feitas para melhorar a planta de produção visitada. Foi informado que a cooperativa gera mais energia do que é consumida na Unidade, assim, foi sugerido ao cooperado responsável que o uso de filtros para redução de gás sulfídrico poderia deixar o processo mais barato no quesito manutenção, pois reduz a corrosão do motor prolongando sua vida, e o uso do biogás pode ser realizado na forma térmica para aquecimento dos leitões quando o clima estiver frio ou mesmo para aquecer água.

Ao retornar da visita foi construído outro biodigestor, optando-se por trocar o tonel por um de mesmo volume, porém, de modelo diferente com uma vedação da tampa melhor, por achar que estava vazando biogás por ela no modelo anterior.

A figura 11 apresenta o novo biodigestor elaborado e os equipamentos acoplados ao tonel, visando produzir e medir a quantidade de gás gerado de maneira mais eficiente.

Figura 11: Biodigestor II



Fonte: Autor, 2017

O substrato cedido pela Unidade de Produção de Leitão foi utilizado para alimentar o biodigestor. Uma das características deste substrato é que foi coletado antes da entrada do biodigestor Canadense e contém o acréscimo de água utilizada para lavar as baias onde ficam as matrizes, sendo assim, não houve um controle da proporção apenas foi preenchido com 125 litros do material.

No decorrer de 7 dias, observou-se um aumento da produção. Perto do décimo primeiro dia houve a abertura da válvula por terceiro, pois ao chegar ao local para a vistoria diária a mesma estava aberta.

Assim, a dificuldade em produzir biogás no ambiente acadêmico, levou à opção por procurar locais que cedessem acesso ao biogás para realização dos testes de fundição, porém, a unidade produtora de leitões visitada negou o acesso, uma vez que teria que modificar tubulações, visto que seus únicos acessos seriam para o motor-gerador e para um queimador, onde o excesso era eliminado.

Assim, por indicação dos professores de agronomia da Faculdade Assis Gurgacz, entrou-se em contato com a Granja São Pedro – Colombari em São Miguel do Iguaçu/PR, que atua também no segmento de Suinocultura de Terminação, com capacidade de 5 mil suínos. Segundo dados do Centro Internacional de Energias Renováveis–Biogás (CIBiogás), a propriedade possui uma produção de 750 m³/dia, sendo o usado para produção de 1.000

kWh/dia. Visto o interesse da propriedade por pesquisas no intuito de difundir e melhorar sua planta, permitiram realizar os testes em uma das saídas de biogás.

A figura 12 apresenta o biodigestor modelo canadense que funciona na Granja Colombari.

Figura 12: Biodigestor Canadense na Granja Colombari



Fonte: Autor, 2017

3.2 FORNO PARA FUSÃO E CADINHO

Para fabricação do forno foi utilizado os seguintes materiais, os quais seguem descritos no projeto em anexo: quatro tijolos refratários de 229x114x76 mm, utilizados para fazer as paredes internas; uma placa de 457x229x76 mm, para bases, a qual foi perfurada no centro com uma serra copo para mármore de 50 mm, onde será colocado o maçarico; para facilitar o transporte, apenas os tijolos foram cimentados com argamassa refratária, onde foi utilizada uma caixa de madeira como forma com dimensões de 230x230x220 mm, deixando assim em duas partes móveis; outros dois tijolos foram utilizados para tampa, onde os mesmos foram perfurados com um semicírculo no centro da borda, esse sevem para passagem dos gases da queima e possui juntos um diâmetro de 25 mm.

Segundo o fabricante REFRATIL, os tijolos e a placa são Moldados Sílico-Aluminosos AL 45, que suportam temperaturas de 1450 °C. O mesmo não deu dados da argamassa.

O maçarico não apresenta fabricante, mas os seguintes dados foram coletados de modelos similares na internet, onde o mesmo possui 2 registros, haste longa com 60cm,

mangueira com 2,10 metros, anti chamas com temperatura mínima de 750°C. Consumo de máximo de 1.400 L/min GLP, com registro totalmente aberto.

O cadinho foi feito com um cano de aço de reciclagem de 2,5 polegadas de diâmetro interno, com 3 mm de espessura e 120mm de altura, com um acréscimo de uma chapa de 7 mm soldada na base para ser usada fundo do mesmo, foi acrescentado duas hastes de 50mm em lados opostos, para que o mesmo pudesse ficar suspenso, onde 2 cavidades forem feitas para esta função, na intenção de deixar um espaço no fundo para a chama. A figura 13 apresenta o forno e cadinho utilizados nos testes realizados na granja.

Figura 13: Forno e cadinho para testes



Fonte: Autor, 2017

3.3 COMPRESSOR

De acordo com Oliveira *et al* (200), é necessário utilizar uma manta como gasômetro, uma vez que este uso confere uma baixa pressão à mistura gasosa. Isso decorre da distância máxima do ponto de consumo, que não pode ser superior a 50 metros, assim, para realizar a experiência, foi recomendado o uso de um compressor a fim de obter maior pressão do biogás.

Após a montagem do forno e feito a ligação do biodigestor ao maçarico inferior a 50 m, observou que a baixa pressão do gás que mantinha um chama pequena, visto que o maçarico utiliza alta pressão, pois a pressão interna do botijão P13 varia de 392 kPa a 686 kPa (3,92 Bar a 6,86 Bar) é conectada direto ao maçarico sem o regulador, admitindo maior pressão na saída do maçarico para gás GLP. Desta maneira, foi necessário realizar testes com o compressor para descobrir a pressão correta para o uso do biogás, obtendo como resultado a manutenção da chama em 2,5 Bar.

A figura 14 apresenta o compressor utilizado na experiência realizada na Granja Colombari, demonstrando que o relógio da esquerda marca a pressão do Biogás dentro do compressor e o relógio da direita marca 2,5 Bar da pressão de saída do compressor para o maçarico.

Figura 14: Compressor usado na experiência



Fonte: Autor, 2017

Visando aumentar pressão do biogás foi acoplado o compressor da marca Schultz, modelo MSI 8,5/25 a saída de biogás, tendo usado duas reduções de 100 mm para 50 mm e de 50mm para 32mm, utilizando um eletroduto de 32mm para ligar à saída do biogás na entrada de ar do compressor.

A figura 15 apresenta as reduções usadas na saída do biogás e o eletroduto utilizado para a experiência.

Figura 15: Reduções e eletroduto



Fonte: Autor, 2017

A figura 16 apresenta o eletroduto ligado ao compressor para utilização do biogás na experiência.

Figura 16: Eletroduto ligado a entrada de ar do compressor



Fonte: Autor, 2017

A figura 17 apresenta a ligação realizada do compressor ao maçarico para realizar a experiência

Figura 17: Compressor ligado ao maçarico do Forno



Fonte: Autor, 2017

3.4 TESTE

Os testes foram realizados a céu aberto tendo a interferência das variações climáticas, pois não houve como envazar o biogás e realizar a fundição em ambiente controlado, por isso foram tomados os cuidados de realizar os testes no período de 10 horas da manhã e 15 horas de tarde, onde a incidência do sol é maior, sendo que também foram realizados em dias

consecutivos. A temperatura medida foi de 31,2°C no primeiro dia e 32,6 °C no segundo dia. Intercalando um teste, utilizando gás GLP e outro biogás, visando variar a ordem e no segundo dia dando maior homogeneidade dos resultados.

Observou também que era necessário fundir o alumínio provido de latinhas para formar um bloco base, sendo de 300 gramas de alumínio, contendo o formato do interior do cadinho, eliminando os espaços vazios entre o material deixando mais compacto.

3.4.1 GLP

Segue descrição dos testes:

1º Dia: Os testes com GLP foram feitos com uma pressão entre 3,92 Bar a 6,86 Bar, sendo ela a mesma do bostijão de gás P13, onde foi fundido 5 vezes, sendo a primeira para preparar o corpo de prova de 300 gramas. O segundo teste foi realizado entre 11h30min e 12:00 horas, sendo um tempo de 22min:26seg para completa fusão do corpo de prova. O terceiro teste foi realizado entre 14h30min e 15:00 horas, sendo um tempo de 23min:48seg para completa fusão do corpo de prova.

2º dia: O quarto teste foi realizado entre 10h e 10h30min, sendo um tempo de 23min:58seg para completa fusão do corpo de prova. O quinto teste foi realizado entre 13h e 13h30min, sendo um tempo de 21 min: 28 seg para completa fusão do corpo de prova.

O sexto teste foi realizado entre 11h30min e 12:00 horas, sendo um tempo de 26min:37seg para completa fusão do corpo de prova.

O sétimo teste foi realizado entre 14h30min e 15:00 horas, sendo um tempo de 27min:23seg para completa fusão do corpo de prova.

3.4.2 Biogás

Na tentativa de fundir com biogás, observou que o mesmo não mantém um chama acesa em pressões muito elevadas, nem sendo que por um ajuste utilizando 2,5 Bar. Segue descrição:

1º dia: O primeiro teste foi realizado entre 10h e 10h30min, sendo um tempo de 27min: 38seg para completa fusão do corpo de prova. O segundo teste foi realizado entre 13h e 13h30min; sendo um tempo de 26 min: 53seg para completa fusão do corpo de prova.

2º dia: O terceiro teste foi realizado entre 11h30min e 12:00 horas, sendo um tempo de 26min:37seg para completa fusão do corpo de prova. O quarto teste foi realizado entre

14h30min e 15:00 horas, sendo um tempo de 27min:23seg para completa fusão do corpo de prova.

A figura 18 apresenta o resultado visual do teste com a obtenção de alumínio fundido no cadinho.

Figura 18: Alumínio fundido dentro do cadinho



Fonte: Autor, 2017

Foi possível observar que o forno e cadinho foram resfriados com água, sendo aguardado por 1h para total resfriamento e equalização da temperatura ao ambiente. Da mesma forma, foi pesado o corpo de prova após os testes do segundo dia, sua massa reduziu para 273 gramas, sendo uma perda de 27 g durante a fusão como mostra a Figura 19.

Figura 19: Alumínio fundido sendo pesado após os testes.



Fonte: Autor, 2017

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 BIODIGESTOR

Houve dificuldade em produzir o biogás, apesar das tentativas, a falta de experiência com a pesquisa levou a ocorrência de erros, sendo que não foi observado um vazamento da tampa do primeiro biodigestor construído. No segundo biodigestor não foi levado em conta a curiosidade humana, pois o mesmo estava em uma área de fácil acesso de terceiros, o que causou a abertura do registro do biodigestor, deixando o biogás sair, porém houve uma ajuda incondicional de pesquisadores e profissionais da área, que me cederam biogás para realização dos testes.

Em comparação à outros trabalhos que vieram a ser de referência, constatou-se que os mesmos obtiveram uma produção de biogás, sendo o biodigestor deste trabalho uma reprodução do biodigestor elaborado por Metz (2013), que produziu 256,5 litros de biogás. O mesmo autor comparou os resultados com um biodigestor de bancada e constatou que este produz 118,82 litros no melhor parâmetro testado. Sendo assim, há possibilidade de se refazer o biodigestor e tomar melhores cuidados para a produção de biogás.

4.2 FORNO

O forno com o qual se realizou a experiência foi construído de maneira simplória, porém, não houve problemas. É recomendável a aquisição ou fabricação de mini fornos ou o uso apenas de um cadinho, com chama direta para facilitar os testes, pois para construir de tijolos e cimento refratário necessita de experiência com esses materiais, o que conduz à necessidade de utilização de conhecimentos de outros profissionais. Porém, o forno construído cumpriu seu objetivo de simular condições de uso industrial.

4.3 TESTE

Observou que houve a fusão do alumínio com biogás Tabela 4, foi em um tempo maior ao do gás GLP Tabela 5 onde temos um comparativo na Tabela 6. Deve-se levar em conta que o biogás utilizado estava sendo inflado com uma pequena porcentagem de ar, segundo a administração granja São Pedro. Utiliza-se o ar para remoção do gás sulfídrico. Não se tem os dado da quantidade de metano gerado, pois o mesmo varia de acordo com uma

série de fatores, sendo o principal a alimentação dos porcos, pois muda as características da biomassa é necessária uma análise a qual seria determina a composição do biogás, onde os parâmetros analisados são Metano, Dióxido de Carbono, Oxigênio e Gás Sulfídrico, no qual uma maior quantidade de metano expressaria um maior poder calorífico, resultando em uma fundição mais econômica, sendo usada uma massa de gás menor para realizar a fundição.

Tabela 4: Tempo de fundição com biogás

Dia	Combustível	Tempo de fundição
1°	Biogás	27min: 38seg
1°	Biogás	26min: 53seg
2°	Biogás	26min: 37seg
2°	Biogás	27min: 23seg
Média		27min: 08seg

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Tabela 5: Tempo de fundição com GLP

Dia	Combustível	Tempo de fundição
1°	GLP	22min: 26seg
1°	GLP	23min: 48seg
2°	GLP	23min: 58seg
2°	GLP	21min: 28seg
Média		22min: 55seg

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Tabela 6: Resultado comparativo dos combustíveis

Combustível	Tempo de média fundição
Biogás	27min: 08seg
GLP	22min: 55seg
Diferença de Tempo	4min: 13seg

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Como houve mudança na obtenção do biogás e dada a janela de apenas 2 dias para realizar os testes, não foi possível coletar o dado de gasto de biogás para a fundição, pois o biodigestor da granja era grande e não havia equipamento com medidor de gás ou medidor de pressão, sendo que o mesmo não era de fácil acesso para compra na região, não sendo possível medir o biogás consumido. Assim esses dados não foram coletados.

Desta forma, foi realizado o cálculo para a comparação teórica, levando em conta o custo do biogás em relação a outros combustíveis, como visto na tabela 7, uma comparativa de 1m³ de biogás com combustíveis usuais, sendo considerado um valor de 70% de metano o que gera 6000 kcal.

Tabela 7: Comparativa de 1m³ de Biogás com combustível

Gasolina	Gasóleo	Biodiesel	Gás Natural	GLP	Elettricidade	Lenha	Pellets Madeira
0,61 litros ou	0.7 litros	0,55 litros	0,77 m ³	0,45 Kg	6,9kWh	1,538 Kg	0,304g

Fonte: Adaptado de Silva (2009)

4.4 CUSTOS COMPARATIVOS

Abaixo segue os custos comparativos dos combustíveis em relação ao m³ de biogás.

4.4.1 GLP

A Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2017), publicam mensalmente a evolução dos preços de GLP em todos os estados brasileiros desde novembro de 2001. Em sua última publicação indicam o valor de R\$63,21 para o botijão P13 para consumidor final no Brasil. Como foi utilizado o mesmo na pesquisa, será usado este como base de cálculo, pois há várias modalidades de venda deste combustível.

Utilizando o valor R\$ 63,21 e o dividindo por 13 Kg temos o valor de R\$ 4,862 por Kg de GLP.

Multiplicando o valor de R\$ 4,862 pela equivalência de GLP na Tabela 7 temos R\$2,188 pela equivalência de 1 m³ de biogás.

4.1.2 Gás Natural

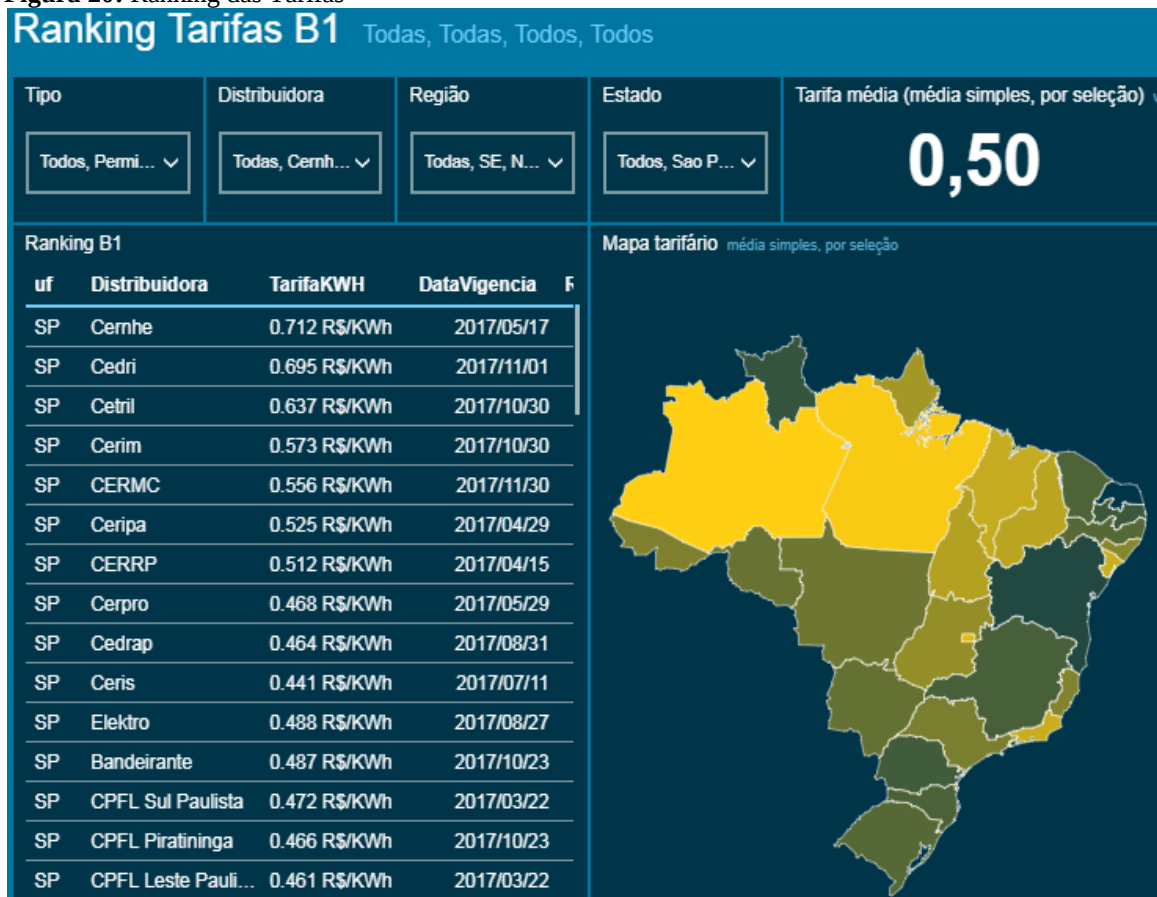
Segundo a média nacional, o valor do gás natural em setembro de 2017 foi de R\$2,421 a cada m³ para o consumidor final, dado coletado da ANP no SLP (Sistema De Levantamento De Preço). Utilizando deste preço e o valor da equivalência em biogás no Tabela 7 e os multiplicando temos R\$1,864 para cada metro m³ de biogás.

4.1.3 Elettricidade

Utilizando o Ranking das Tarifas, da Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, a média nacional expressa na unidade R\$/kWh - reais por quilowatt-hora, em

setembro de 2017 foi de 0,50 R\$/kWh, multiplicando pelo valor de equivalência de biogás na Tabela 7, sendo este de 6,9 kWh, obtemos R\$ 3,45.

Figura 20: Ranking das Tarifas



Fonte: <http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>

4.1.4 Biometano

Segundo o ex-superintendente de Energias Renováveis da Itaipu, Cícero Bley Júnior (2014), o custo do biometano é de R\$ 1 o m³ para o produtor e ao consumidor final é de R\$ 1,80.

Visto na Resolução ANP nº 8/2015 que estabelece a especificação do Biometano de origem nacional a ser comercializado em todo o território nacional, onde o mesmo reúne características para ser intercambiável com o gás natural em todas as suas aplicações, onde deve seguir as características da Tabela 8, sendo assim admite que dentro destas variáveis possamos utilizar a equivalência do gás natural da tabela 7 para o Biometano sendo ela de 0,77 m³.

Multiplicando 0,77 m³ pelo valor ao consumidor final de R\$ 1,80 temos R\$1,386.

Tabela 8: Especificação para o Biometano

CARACTERÍSTICA	UNIDADE	LIMITE	MÉTODO		
			NBR	ASTM	ISO
Metano, <u>mín</u>	% mol.	96,5	14903	D1945	6974
Oxigênio, máx.	% mol.	0,5	14903	D1945	6974
CO ₂ , máx.	% mol.	3,0	14903	D1945	6974
CO ₂ +O ₂ +N ₂ , máx.		3,5	14903	D1945	6974
<u>Enxofre Total</u> , máx.(2)	mg/m ³	70	15631	D5504	6326-3 6326-5 19739
Gás Sulfídrico (H ₂ S), máx.	<u>mg/m³</u>	10	15631	D5504 D6228	6326-3 19739
Ponto de orvalho de água a 1atm, máx.	°C	-45	15765	D5454	6327 10101-2 10101-3 11541

Fonte: Resolução ANP nº 8/2015

4.1.5 Biogás

Há várias formas de obtenção de biogás, sendo elas por meio de dejetos de animais, aterros sanitários, resíduos urbanos e industriais. Sendo assim, o valor do biogás de cada planta produtiva varia de acordo com a situação, portanto não se achou dado sobre o valor do biogás, assumindo ser inferior ao do biometano, pois o mesmo é o biogás processado e limpo.

Tabela 9: Comparativo de valores do equivalente em m³ de biogás.

Combustível	Eleticidade	GLP	Gás Natural	Biometano	Biogás
Valor	R\$3,45	R\$2,188	R\$1,864	R\$1,386	< R\$1,386
Diferença em relação ao Biogás	148,91%	57,86%	34,48%	-	-

Fonte: Elaborado pelo autor, 2017

Podemos observar que o biogás com 70% de metano o que gera 6000 kcal em equivalência aos demais combustíveis é o mais barato, seguido pelo biometano e gás natural, sendo o mais caro a energia elétrica seguida pelo GLP com demonstrado na Tabela 9.

5 CONCLUSÃO

Essa ação demonstra que ao desenvolver o uso do biogás, como fonte renovável de energia para realizar a fundição do alumínio reciclado, contribui-se para a preservação de recursos naturais e transforma em energia os rejeitos descartados na natureza. Porém, o uso de biogás, especialmente em ambientes rurais, contribui para equalizar o uso de GLP - Gás Liquefeito de Petróleo, gás natural e da energia elétrica, para realizar as atividades de produção agrária e também na industrialização de rejeitos recicláveis, especialmente na fusão do alumínio descartados em aterros e oriundos de coleta seletiva.

Esta pesquisa investigou se o biogás tem capacidade de fundir alumínio reciclado, sendo que a variação de metano na composição influi diretamente no sistema, pois quanto maior for sua quantidade melhor é o poder calorífico, mais eficiente será o processo. Assim é importante realizar uma análise do biogás, identificar se o uso de compressores contribui para imprimir maior pressão, quando esta pressão gerada pelo biodigestor não for suficiente.

Em termos de valores, o biogás e o biometano tem valor bem competitivo em frente a outros combustíveis utilizados na reciclagem de alumínio, sendo 148,91% mais barato que a energia elétrica, onde se encontrou a maior diferença, e 34,48% mais barato que o gás natural sendo a menor diferença, visto que não foi encontrada uma base sólida para o valor do biogás, porém o mesmo possui um valor inferior ao do biometano por ser sua matéria prima.

O biometano, apesar dos investimentos para sua produção, tem um valor muito acessível, visto que seu uso tem mais aplicações e facilidades, principalmente o de transporte para a indústria.

Os testes e a comparação realizada comprovou ser possível o uso do biogás, desde que sejam realizadas as adequações necessárias à produção para viabilizar e equalizar a mesma às necessidades industriais. Há um ganho significativo em relação ao uso do biogás em relação a outras fontes energéticas, pois corresponde a uma ação sustentável que não explora o ambiente natural, o que permite promover a reciclagem de metais de maneira completamente sustentável e barata.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando amplificar o uso do biogás e seu subproduto o biometano, outros metais com ponto de fusão inferior e superior ao do alumínio podem ser verificados para fundição, como exemplo o chumbo, o antimônio, ferro e outros materiais reciclados.

O uso do biogás de aterro sanitário facilitaria o processo de reciclagem, pois há coletores (catadores de lixo) e cooperativas que efetuam apenas a coleta, visando aumentar seus lucros e gerando um valor agregado a seus produtos, podendo usufruir destes benefícios para fundição de metais.

Novas tecnologias para aterros sanitários podem ser desenvolvidas, visando melhorar a qualidade do biogás produzido pelo mesmo, podendo ser aplicado como combustível para o transporte de lixo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL - Associação Brasileira do Alumínio. **Reciclagem**. Disponível em: <http://abal.org.br/sustentabilidade/reciclagem/> Acesso em 02.10.2017.

ABRALATAS - Associação Brasileira dos Fabricantes de Latas de Alta Reciclabilidade. Reciclagem. Disponível em: <http://www.abralatas.org.br/#meioambiente>. Acesso em: 25.10.2017.

ANEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. <http://www.aneel.gov.br/ranking-das-tarifas>. Acessado em: 18/02/2018

AXAOPOULOS, P.; PANAGAKIS, P.; TSAVDARIS, A.; GEORGAKAKIS, D. “Simulation and experimental performance of a solar-heated anaerobic digester”. In: **Solar Energy**, v.70, n.2, p.155- 164, 2001.

BERNHARDT, Eduardo. **Alumínio**. 2016. Disponível em: <http://www.recicloteca.org.br/material-reciclavel/met-al/aluminio/>. Acesso em 20.10.2017.

CHERNICHARO C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: biodigestores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 1997. v. 5, 246p.

COLDEBELLA, Anderson. **Viabilidade do uso de biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Cascavel-PR: UNIOESTE, 2006. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/bitstream/tede/2841/1/Anderson%20Coldebella.pdf>. Acesso em 05.10.2017.

DEUBLEIN, Dieter; STEINHAUSER, Angelika. **Biogas from Waste and Renewable Resources**. Ed. Wiley - VCH, 2008

DOHANYOS, M.; KOSOVA, B.; ZABRANSKA, J. ; GRAU, P. **Production and utilization of VFA's in various types of anaerobic reactors**. Water Science and Technology, v.17, p.191–205, 1985.

FREITAS, Eduardo de. "Biogás". In: **Brasil Escola**. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/geografia/biogas.htm>>. Acesso em 29 de novembro de 2017.

GONÇALVES, H. F. E.; LIMA, R. S.; WEISS, V. A. B.; MENEZES, V. S.; **O Biodigestor como Princípio de Sustentabilidade de uma Propriedade Rural**. 1., 2006, Natal. Natal: CEFET-RN. CD-ROM.

GUYOT, G. **Climatologie de L'environnement: de la plante aux écosystemes**. [S.l.] : Ed. Masson, 1997. 505p.
<https://cibiogas.org/colombari>

<http://www.servgas.com/principal.php?tipo=tabelas&titulo=Tabelas>

<http://www.bioenergyfarm.eu/wp-content/uploads/2015/09/Biogas-e-Biometano.pdf>

http://energiasrenovaveis.com/DetalheConceitos.asp?ID_conteudo=65&ID_area=2&ID_sub_area=2

<http://g1.globo.com/pr/oeste-sudoeste/noticia/2014/11/onibus-movido-gas-biometano-e-apresentado-em-foz-do-iguacu.html>

<http://www.canalrural.com.br/noticias/cana/projeto-milhoes-preve-producao-comercializacao-biometano-58498>

JOSÉ, H. J. **Combustão e Combustíveis**: Apostila de Química Tecnológica Geral. Florianópolis: Universidade de Santa Catarina 2004.

JEREMY L. (Editor responsável). Aquecimento global. O relatório do GREENPEACE. Ed. Fundação Getúlio Vargas, Rio de Janeiro - RJ, 1992.

KUNZ, A.; PERDOMO, C. C.; OLIVEIRA, P. A. V. de. **Biodigestores: avanços e retrocessos**. Suinocultura Industrial, v.26, n.4, 2004, p.14-16.

LA FARGE, B. de. **Le biogaz: procédés de fermentation méthanique**. Paris: Masson, 1995. 237p.

LUCAS JR., J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. 1994. 113p. Tese (Livre Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

MARINHO, Ana Flávia. “Produção de biogás tem grande potencial, mas depende de incentivos”. In: **Jornal da Bioenergia**.2017.Disponível em:
<http://www.canalbioenergia.com.br/apesar-dos-recursos-disponiveis-producao-de-biogas-ainda-e-pequena/> Acesso em 04.10.2017 .

MASSÉ, D. I., MASSE, L.; CROTEAU, F. “The effect of temperature fluctuations on psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors treating swine manure”. In: **Bioresource Technology**, v.89, p.57–62, 2003.

MEDEIROS, J.X. **Curso de tecnologia de biogás**. Brasília, UFR/MMESE-TEC/EMBRATER, 1980. 15p.

METZ, Hugo Leonardo. **Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos**. 2013. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Departamento de Departamento de Engenharia, Setor de Construções Rurais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético. **Resenha Energética Brasileira**. 2017.

NASCIMENTO, E. F.; LUCAS JUNIOR, J. “Biodigestão anaeróbia do estrume de suínos: produção de biogás e redução de sólidos em cinco tempos de retenção hidráulica”. **Energia na Agricultura**. v.10, n.14, p.21-31, 1995.

OKAMURA, Layssa Aline. **Avaliação e melhoria do poder calorífico de biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, 2013.

OLIVEIRA, P. A. V. de; HIGARASHI, M. M.; MATEI, R. M.; MENDES, G. L. “Uso dos resíduos de sistema de crescimento e terminação de suínos para a produção de biogás”. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE VETERINARIOS ESPECIALISTAS EM SUÍNOS**, 12, 2005, Fortaleza. Anais. Fortaleza, ABRAVES, p.512-513, 2005.

OLIVEIRA, P. A. V. de; KUNZ, A. **Sistemas de tratamento de dejetos suínos: inventário tecnológico**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2003. 83p. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 85).

PARKIN, G. F.; OWEN, W. F. “Fundamentals of anaerobic digestion of wastewater sludges”. In: **Journal of Environmental Engineerin**. v.112, n.5, p.867–920, 1986.

ROYA, Bruno; FREITAS, Eduardo; BARROS, Evandro ; ANDRADE, Fábio ; PRAGANA, Michael; SILVA, Djalma José Alexandre da. “Biogás: uma energia limpa”. In: **Revista Eletrônica Novo Enfoque**, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142 – 149. Disponível em: http://www.castelobranco.br/sistema/novoenfoque/files/13/artigos/12_BunoRoya_Biogas_Prof_Djalma_VF.pdf. Acesso em 20.10.2017.

SALOMON, K. R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade**. 2007. 247 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Itajubá. Instituto de Engenharia mecânica. Itajubá. Minas Gerais.

SOARES, R. C.; DA SILVA, S. R. C. M. **Evolução Histórica do Uso de Biogás como Combustível**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Mato Grosso – IFT: Cuiabá, 2010.

SANCHEZ, E.; BORJA, R.; TRAVIESO, L.; MARTIN, A.; COLMENAREJO, M. F. **Effect of organic loading rate on the stability, operational parameters and performance of a secondary upflow anaerobic sludge bed reactor treating piggery waste**. *Bioresource Technology*, v.96, p.335-344, 2005.

SGANZERLA, Edílio. **Biodigestores: uma solução**. Porto Alegre. Agropecuária, 1983.

SOUZA, C. F. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos: obtenção de dados e aplicação no desenvolvimento de um modelo dinâmico de simulação da produção de biogás**. 2001. 140 p. Tese (Doutorado em Zootecnia – Produção Animal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SOUZA, Cecília F; LUCAS JÚNIOR, Jorge de; e, FERREIRA, Williams P. M. “Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do

substrato – considerações sobre a partida”. In: **Revista Engenharia Agrícola Jaboticabal**. V.25, n.2, p.530-539, maio/ago, 2005.

TAGORE, Victor. **Meio ambiente**. Disponível em <http://www.revistameioambiente.com.br/2006/08/16/o-que-sao-creditos-de-carbono>. Arquivo capturado em 26 de maio de 2017.

TIAGO FILHO, G. L. ; FRAMIL, Eliane . **Agroenergia**- Fundamentos sobre o Uso da Energia no Meio Rural. 2003.

VAN LIER, J. B.; SANZ MARTIN, J. L.; LETINGA, G. **Effect of temperature on anaerobic thermophilic conversion of volatile fatty acids by and granular sludge**. Water Research, v.30, p.199-207, 1996.

BLEY JÚNIOR, Cícero. <http://g1.globo.com/pr/oeste-sudoeste/noticia/2014/11/onibus-movido-gas-biometano-e-apresentado-em-foz-do-iguacu.html>. Acessado em 18/02/2018.

VISSER, A.; GAO, Y.; LETINGA, G. **Effects of short-term temperature increase on the mesophilic anaerobic breakdown of sulfate containing synthetic wastewater**. Water Research, v.27, p.541-5501, 1993.

ANEXOS