



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

CAMPUS ALTO PARAOPÉBA

ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Análise de Produção de Inovação Tecnológica do Biogás no Brasil de 2006 a 2016

AUTOR: VÍTOR MANOEL CARNEIRO ALVES

ORIENTADOR: BRENER MAGNABOSCO MARRA

**Ouro Branco - MG
Junho/2016**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Análise de Produção de Inovação Tecnológica do Biogás no Brasil de 2006 a 2016

Vítor Manoel Carneiro Alves

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
em cumprimento às exigências do Curso de
Bacharelado em Engenharia de Bioprocessos
da Universidade Federal de São João del Rei.

**Ouro Branco - MG
junho/2016**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO JOÃO DEL-REI

CAMPUS ALTO PARAÓPEBA

ENGENHARIA DE BIOPROCESSOS

Análise de Produção de Inovação Tecnológica do Biogás no Brasil de 2006 a 2016

Vítor Manoel Carneiro Alves

A Banca Examinadora, composta pelos membros abaixo, avaliou este TCC:

Brener Magnabosco Marra – Orientador

Alessandra Costa Vilaça – Examinador 1

Edson Romano Nucci – Examinador 2

Ouro Branco, 08/06/2016

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo analisar as produções tecnológicas no Brasil no setor de biogás, utilizando o site do INPI para este fim, utilizando os termos biogás, biodigestores, orgânicos, equipamentos, energia. Além de fazer a revisão bibliográfica do biogás abordando os determinados assuntos: Parecer histórico, problemas ambientais relacionados á matéria prima do biogás, a formação do biogás, suas características, equivalência do biogás com outros combustíveis e sua utilização como fonte de energia, o processo de purificação do biogás, assim como os modelos de biodigestores e fatores que influenciam na digestão. O interesse no desenvolvimento do trabalho veio com o intuito de transformar dejetos em fonte de renda, produzindo energia além de estabilizar matéria orgânica que possui alto potencial poluidor, além de sua digestão ocasionar na produção de gases estufas já que o Brasil é um país com grande atividade agropecuária e grande produtor de Resíduos Sólidos Urbanos, sobretudo orgânico.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
OBJETIVO.....	12
REVISÃO DA LITERATURA.....	13
3.1 Histórico do Biogás.....	13
3.2 Biogás - Formação	14
3.3 Características e Propriedades do Biogás	15
3.3.1 Metano	17
3.3.2 Dióxido de carbono	17
3.3.3 Compostos minoritários.....	17
3.4 Equivalência do biogás com outros combustíveis e sua utilização como fonte de energia.....	19
3.5 Processos de Purificação do Biogás	20
3.6 Biodigestão.....	21
3.6.1 Hidrólise.....	23
3.6.2 Fase Acidogênica- Acidogênese	23
3.6.3 Fase Acetogênica.....	24
3.6.4 Fase Metanogênica	25
3.7 Fatores que influenciam na biodigestão	27
3.7.1 Inóculo Inicial.....	28
3.7.2 Carga orgânica.....	28
3.7.3 Temperatura	29
3.7.4 pH e Alcalinidade	29
3.7.5 Tempo de Retenção Hidráulica	31
3.7.6 Presença de Substâncias tóxicas	33
3.7.7 Relação de nutrientes	33
3.7.8 Formação de ácido sulfídrico	34

3.8 Biodigestores.....	35
ANÁLISE DE PRODUÇÃO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DE BIOGÁS NO BRASIL ENTRE OS ANOS DE 2006-2016	46
CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
ANEXO I	60

Lista de Figuras

Figura 1 - Composição do Biogás.....	16
Figura 2 - Tratamento necessário ao biogás em função de sua utilização.....	21
Figura 3 - Esquema das reações da digestão anaeróbica.....	27
Figura 4 - Biodigestor modelo Batelada em sua vista frontal.....	36
Figura 5 - Representação ilustrativa de um biodigestor modelo Indiano.....	38
Figura 6 - Biodigestor modelo Chinês.....	39
Figura 7 - Representação em corte de um biodigestor do modelo desenvolvido pela Marinha do Brasil.....	42
Figura 8 - Representação em corte de um biodigestor simplificado do modelo desenvolvido pela Marinha.....	42
Figura 10 - Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 com o termo “biogás” em seu título.....	44
Figura 11 - Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 com o termo "biogás" em seu resumo.....	47
Figura 12 - Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 com o termo "biogás" em seu título e resumo.....	48
Figura 13 - Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 com o termo "biogás" em seu título e os termos "biogás" e "orgânico" em seu resumo.....	48
Figura 14 - Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 com o termo "biogás" em seu título e os termos "biogás" e "equipamentos" em seu resumo...49	49
Figura 15 - Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 com o termo "biogás" em seu título e os termos "biogás" e "energia" em seu resumo.....	50
Figura 16 - Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 com os termos "biogás" e "equipamentos" em seu resumo.....	50
Figura 17 - Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 com os termos "biogás" e "orgânico" em seu resumo.....	51
Figura 18 - Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 com os termos "biogás" e "energia" em seu resumo.....	50
Figura 19 - Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 com o termo "biodigestor" em seu resumo.....	52

Figura 20 - Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 com o termo "biodigestor" em seu típico.....52

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Composição do biogás em função do substrato utilizado.....	16
Tabela 2 - Equivalência do Biogás com outras fontes de energia.....	19
Tabela 3 - Consumo de biogás e rendimento de aparelhos utilizados em países em desenvolvimento com seus respectivos rendimentos.....	20
Tabela 4 - Grupos bacterianos com seus respectivos pH ideais de atividade.....	30
Tabela 5 - Valores de TRH para diferentes resíduos animais.....	32
Tabela 6 - Produção de biogás a partir de 1Kg de sólidos voláteis de lodo de esgoto (base seca) e TRH habitual obtidos em função de diversas temperaturas.....	32
Tabela 7 - Relação C/N para diferentes substratos.....	34

INTRODUÇÃO

O Agronegócio no Brasil vem crescendo ao longo dos anos e colocando-o em importante cenário no PIB. No ano de 2015, a agropecuária foi responsável por 21,46 % do PIB brasileiro, contribuindo em R\$ 1.267.241 milhões de reais (CEPEA, 2016).

O crescimento da agropecuária e de sua importância na economia nacional está intrinsicamente relacionada com o crescimento de resíduos agropecuários, seja por uso e desperdícios de insumos, perdas entre a produção e o consumo, e aos materiais que, gerados ao longo da cadeia agroindustrial, não possuem valor econômico evidente. É estimado que 20% a 30% da safra em média de frutas, hortaliças e grãos sejam desperdiçados dentre a produção e o consumo (ROSA *et al*, 2011).

As atividades agropecuárias, assim como o não tratamento devido aos seus resíduos, tem alto potencial poluidor, afetando o solo, águas superficiais e águas subterrâneas, isto devido a seu alto teor de material orgânico, que em contato ao corpo hídrico, este material orgânico oxidável sofre ações de bactérias oxidáveis que os estabilizam utilizando o oxigênio presente no meio aquático, causando assim morte aos animais presentes no meio e o risco de eutrofização de lagos e rios, dificultando o tratamento da água para o abastecimento público (MATOS, 2005). Outro problema relacionado à agropecuária e coadunado aos resíduos da atividade está a contribuição para o efeito estufa com emissão e gases como o metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), óxido nitroso (N₂O) e óxidos de nitrogênio (NO_x). Estima-se que 20% do incremento anual do forçamento radiativa global é atribuído ao setor agrícola considerando-se o efeito dos gases metano, óxido nitroso e gás carbônico, excluída a fração correspondente às mudanças do uso da terra relacionadas às atividades agrícolas (15%). O metano e o óxido nitroso são os principais gases emitidos pelo setor agropecuário, contribuindo com 15% e 6%, respectivamente, para o forçamento radiativo global. Outro agravante relacionado as atividades agropecuária e seus resíduos é que juntos são responsáveis por cerca de 55% das emissões antrópicas de metano (CNPMA, 2016).

Seguindo a mesma evolução de crescimento das atividades agropecuárias, a população brasileira e sua concentração aumentaram em regiões urbanas ao longo das ultimas décadas, resultando assim em uma maior geração média per capita de resíduos domiciliares, lixo público e lixo urbano. A composição e quantidade dos resíduos sólidos urbanos são dependentes das características sócio-econômicas-culturais da população envolvente e a sazonalidade (ICLEI, 2009). A estimativa da composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil no ano de 2008 aponta que a matéria orgânica tem a participação de 51%, com o total de 94.335,10 tonelada/dia de resíduo orgânico (ALVAREZ, 2012) e quando não se tem um destino correto e controlado deste resíduo pode-se acarretar sérios impactos ambientais e de saúde publica. Ainda em 2008, segundo o IBGE, 15,7% do lixo coletado/recebido tiveram o destino a aterros controlados. 64,6 % tiveram o destino a aterro sanitário, 17,6% a lixão e 3,1% a outros, possivelmente reflexo da falta de infraestrutura dos municípios brasileiros e até a displicência do poder publico (GOUVEIA, 2012).

Dentro dos destinos possíveis da matéria orgânica, proveniente de resíduos das atividades humanas, seja domiciliar ou industrial, está a possibilidade da obtenção da bioenergia. Esta biomassa na condição de matéria orgânica formadora desta bioenergia tem um grande potencial na participação, principalmente, na matriz elétrica. Estima-se que a demanda mundial por energia vai crescer 1,6% em media até 2030, devido ao crescimento do consumo energético em países que estão se desenvolvendo. Por utilizar como insumo um resíduo, a geração de bioeletricidade apresenta um custo inferior ao custo de outras fontes renováveis. Além disso, em muitos casos a bioeletricidade é produzida a partir do eficiente processo de cogeração em processos que demandam energia térmica e elétrica de forma simultânea (DE CASTRO, 2008).

Devido sua imensa extensão territorial e sua grande área agricultável ainda a ser explorado, 210 milhões de hectares, o Brasil tem um enorme potencial neste setor da economia. Evidentemente dentre esses hectares, existem florestas e biomas diversos, mas apenas pelo o fato da quantidade de resíduos gerados nas atividades urbanas e da agropecuária já poderiam ser usados para o aproveitamento energético (DE CASTRO, 2008). Estima-se que no ano de 2009, 1,7 bilhão de toneladas de dejetos foram

produzidos apenas na produção de aves, suínos, bovinos sendo que 70% desses dejetos foram jogados livremente ao ambiente sem um tratamento ou aproveitamento (ALVAREZ, 2012).

Dentro das vias de tratamento da matéria orgânica se tem o uso em forma de bioenergia, especialmente a produção de biogás se destaca. A decomposição da matéria orgânica em meio anaeróbico além de estabilizar a matéria, gera gases como metano, capaz de ser coletado e utilizado como fonte de energia. Esta coleta pode ocorrer tanto em aterros sanitários como em biodigestores carregados por sobejo da atividade agropecuária para a produção e a utilização como fonte energética.

OBJETIVO

Este trabalho possui como objetivos revisar a bibliográfica sobre os aspectos relacionados na produção de biogás, abordar a importância de sua produção e tratamento de resíduos orgânicos e a analisar a produção de inovação tecnológicas no setor a no período de 2006-2016 no Brasil, através da produção de patentes no país utilizando o site do INPI como referência.

REVISÃO DA LITERATURA

3.1 *Histórico do Biogás*

A produção do Biogás vem ocorrendo desde os primórdios da história do planeta, tendo iniciado milhões de anos antes de Cristo. Povos agrícolas como as sociedades Hindus, Chineses e Japoneses, foram os povos responsáveis pelas primeiras tecnologias, ainda rudimentar. Os agricultores faziam a limpeza do terreno e posteriormente enterrando o lixo, e com o passar do tempo, percebiam a formação de um gás através da decomposição da matéria (GESTÃO DE ENERGIA, 2002/2003).

A datação da descoberta do biogás, ou o “gás dos pântanos” é do ano de 1667, porém apenas em 1776 reconheceram a presença do gás metano na mistura do Biogás. Descoberta que é atribuída ao físico italiano Alessandro Volta. No século XIX, Ulysses Graynon conseguiu a produção e estocagem do biogás, fermentando uma mistura de estrumes e água, em via anaeróbica a 35 C°, obtendo 100 litros cúbicos do gás por metro de matéria. Por volta do ano de 1884, Pasteur considerou a possibilidade de que a fermentação anaeróbica de matéria orgânica poderia ser uma fonte de aquecimento e iluminação (PRATI, 2010).

Os primeiros países a utilizarem o processo de biodigestão de forma mais intensa com a finalidade na geração de energia foram a Índia e a China, nas décadas de 50 e 60 respectivamente (PRATI, 2010). Estudos mais específicos, em grande maioria na Índia, levaram a criação do *Gobas Gas Institute*, que possibilitou novas metodologias e concepções na construção dos biodigestores, facilitando assim avanços tecnológicos no tratamento de dejetos gerando biogás e biofertilizantes (DE OLIVEIRA, 2013).

No Brasil, o interesse pela produção do biogás começou após a crise do petróleo na década de 70. Um dos primeiros biodigestores construídos no Brasil foi em novembro de 1979 na Granja do Torto na Cidade de Brasília, marcando o início do primeiro ciclo de biodigestores no Brasil. O pioneirismo no Brasil foi importante no

contexto do Programa de Mobilização Energética ocorrida na década de 80. Nesta época, foram instalados cerca de sete mil biodigestores nas regiões sul, sudeste e centro-oeste, porém problemas operacionais como a falta de informações e treinamento fez com que produtores abandonassem a tecnologia por considerar ser de baixa eficiência (BLOG BGS, 2013).

Em meados dos anos 2000, iniciou-se o segundo ciclo de biodigestores no Brasil, impulsionado por incentivo implementado pelo o Governo Federal devido ao mercado de crédito de carbono. Este incentivo mobilizou recursos para a construção de cerca de 1.000 biodigestores (de 2005-2013), beneficiando principalmente donos de propriedades rurais com criação de suínos de médio e grande porte (BLOG BGS, 2013).

Além do mercado de crédito de carbono, para a aquisição dos biodigestores existem programas federais como Programa Agricultura de Baixo Carbono, ou Programa ABC, e o Pronaf ECO, para agricultura familiar, mostrando a percepção de que a utilização de biogás no Brasil tem um grande potencial. Porém, apesar do grande potencial do país e da tecnologia bastante avançada no mundo, se comparado a países asiáticos, o Brasil tem um pequeno numero de biodigestores instalados (BLOG BGS, 2013).

3.2 Biogás - Formação

O biogás é uma mistura gasosa combustível, produzida através da digestão anaeróbia, ausente de oxigênio, fermentativa que tem como finalidade à remoção de matéria orgânica, a formação de biogás e a produção de biofertilizantes ricos em nutrientes (PRATI, 2010). O biogás corresponde apenas 2% a 4% do peso da sua matéria orgânica usada no processo (SALOMON, 2005).

Quando a digestão anaeróbica é realizada em biodigestores especialmente planejados, o biogás pode ser utilizado como combustível, possibilitado principalmente devido seu alto poder calorífero e pelo o fato de não produzir gases tóxicos durante a

queima (PRATI, 2010). Porém, o biogás é um gás agressivo, em termos de corrosão, exigindo cuidados especiais nos equipamentos utilizados (SALOMON, 2005).

Algumas matérias primas tem muito potencial de produção de biogás, dentre eles estão as fezes de suínos, bovinos e aves, resíduos orgânicos, abatedouros, de cervejarias e vinícolas, esgotos e soro do queijo (PRATI, 2010). Os componentes açúcares, amido e proteínas tem excelente biodegradabilidade anaeróbica. A celulose tem uma boa biodegradabilidade anaeróbica (ONUDI, 2016). Já resíduos altamente fibrosos tem baixa biodegradabilidade anaeróbica, apresentando menor potencial para a produção do biogás (PRATI, 2010).

O resíduo utilizado para a produção do biogás é devidamente equilibrado com diluição em água, o qual é um meio para instalação e desenvolvimento das bactérias anaeróbicas envolvidas na fermentação (PRATI, 2010).

3.3 Características e Propriedades do Biogás

O Biogás é constituído basicamente de gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2). Para que o biogás possa ser produzido a partir de materiais orgânicos, são necessários diferentes grupos de microrganismos, que atuam juntamente com diversos fatores de controle, como: pH, tipo do substrato, temperatura, a funcionalidade do processo em geral dentre outros. Todos esses fatores afetam a composição do biogás produzido (KARLSSON *et al*, 2014).

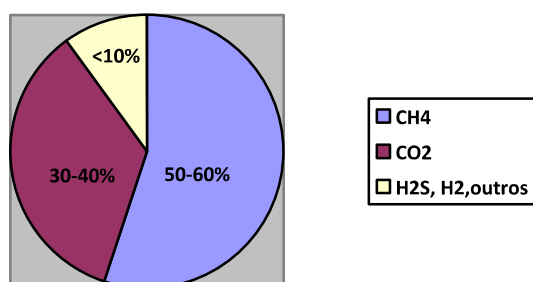
Considerando a heterogeneidade na composição do resíduo, a quantidade de biogás que pode ser produzida a partir de um determinado tipo de substrato é diretamente relacionada a sua composição química, pois seu conteúdo energético depende da composição dos resíduos. Na Tabela 1, demonstra a composição do biogás em função do substrato utilizado (ONUDI, 2016).

Tabela 1: Composição do biogás em função do substrato utilizado (adaptado da ONUDI, 2016).

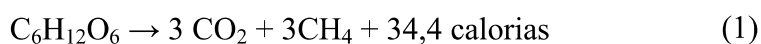
Componente	Resíduos agrícolas	Lodos de depuradora	Resíduos Industriais	Gás de Aterro
Metano	50-80%	50-80%	50-70%	45-60%
Dióxido de Carbono	30-50%	20-50%	30-50%	40-60%
Água	Saturado	Saturado	Saturado	Saturado
Hidrogênio	0-2%	0-5%	0-2%	0-0,2%
Sulfureto de hidrogênio	100-700 ppm	0-1%	0-8%	0-1%
Amoníaco	Vestígios	Vestígios	Vestígios	0,1-1%
Monóxido de carbono	0-1%	0-1%	0-1%	0-0,2%
Nitrogênio	0-1%	0-3%	0-1%	2-5%
Oxigênio	0-1%	0-1%	0-1%	0,1-1%
Compostos orgânicos	Vestígios	Vestígios	Vestígios	0,001-0,6%*

*NMOCS= *Non-methane organic compounds*

Geralmente, pode-se considerar que o biogás está constituído por 50-60% de metano, 30-40% de dióxido de carbono, e em menores proporções estão o nitrogênio que varia de 0-3%, o hidrogênio variando de 0-1%, o oxigênio de 0-1%. Compostos orgânicos voláteis e sulfureto de hidrogênio são tidos como vestígios. A Figura 1 demonstra sua composição média:

**Figura 1:** Composição do Biogás (Adaptada de ONUDI, 2016).

A Equação 1 demonstra a equação global resumida do processo do biogás.



3.3.1 Metano

O metano é um gás combustível, inodoro, incolor, insípido, pouco reativo, queima em excesso de ar ou oxigênio, produzindo vapor de água, dióxido de carbono e liberando energia (ONUDI, 2016; PRADO, 2014).

Sua massa específica é inferior a do ar, isso é de $0,717 \text{ kg/m}^3$ (a 25°C , 1 atm) diante de 1,29, com um Pci (poder calorífico inferior) de $35,0 \text{ MJ/m}^3$. É altamente explosivo e sua solubilidade em água é de cerca de 60mg/L. Apesar de não ser tóxico, o metano pode causar risco de asfixia pela sua capacidade de deslocamento do oxigênio na atmosfera do solo. É um gás que incide de forma importante no efeito estufa, sendo vinte e uma vezes mais potente do que o CO_2 , por exemplo. O metano absorve radiação infravermelha terrestre (calor) e de 1750 até os dias de hoje aumentou sua quantidade em 150% na atmosfera. Estudos mostram que a degradação da matéria orgânica mal gerida contribui ao menos em 5% das emissões de metano no mundo (ONUDI, 2016).

3.3.2 Dióxido de carbono

É um gás inodoro, incolor e não inflamável. Possui uma maior densidade se comparado ao ar atmosférico. Não é tóxico em pequenas concentrações e ocupa boa parte do volume do biogás durante o seu armazenamento, portando, deve ser retirado. É também um gás com uma importância incidência no efeito estufa. (ONUDI, 2016; PRADO, 2014).

3.3.3 Compostos minoritários

Nitrogênio (N_2) e Oxigênio (O_2): O nitrogênio e o oxigênio, que são os principais constituintes do ar atmosférico, somente estão presentes no gás quando o ar atmosférico penetra na plataforma do resíduo (ONUDI, 2016).

Hidrogênio (H_2): É produzido nas primeiras fases da degradação anaeróbica da matéria orgânica. Como o hidrogênio é o gás mais leve, tende a subir rapidamente a atmosfera (ONUDI, 2016).

Monóxido de Carbono (CO): O monóxido de carbono é um gás tóxico, incolor, inodoro e inflamável. Está presente no gás de aterro em baixíssimas concentrações e só ocorre quando há combustão do resíduo na ausência de oxigênio (ONUDI, 2016).

Amoníaco (NH₃): O amoníaco pode ser produzido em pequenas quantidades nas fases iniciais da degradação anaeróbica e também pode ser encontrado no biogás de aterro, com concentrações de cerca de 30mg/m³ (ONUDI, 2016).

Sulfureto de Hidrogênio (H₂S): O sulfureto de hidrogênio é um composto altamente tóxico, inflamável e cheiro desagradável. A produção de sulfureto esta diretamente relacionada a resíduos com composto de enxofre, podendo ser significativa quando o resíduo possui grandes quantidades de composto de enxofre. Devido seu poder corrosivo, é primordial saber sua concentração, para que não seja afetado o aproveitamento energético do biogás (ONUDI, 2016).

Compostos orgânicos voláteis (COV'S): Esses compostos estão constituídos por um número importante de hidrocarbonetos, especialmente por alcanos e alcenos e seus produtos de oxidação, aldeídos, cetonas, álcoois, ésteres, assim como hidrocarbonetos aromáticos, compostos organosulfurados e compostos halogenados (ONUDI, 2016).

Os compostos orgânicos voláteis podem representar de 1% a 2% do volume do gás de aterro, dando cerca de 3 mg/m³. Em altas concentrações pode apresentar perigo à saúde e dentro dos compostos orgânicos voláteis já foram encontrados cerca de 350 compostos diferentes (ONUDI, 2016).

Siloxanos: Sua presença causa preocupação, devido ao fato de poder provocar problemas técnicos na valorização energética feita do biogás como encostamento nos motores (ONUDI, 2016).

3.4 Equivalência do biogás com outros combustíveis e sua utilização como fonte de energia

A Tabela 2 abaixo mostra as equivalências do biogás com outras fontes de energia. Considerando 1 m³ de biogás (70% de CH₄ + 30% de CO₂) com poder calorífico de 6.000 Kcal/m³ (ONUDI, 2016).

Tabela 2: Equivalência do Biogás com outras fontes de energia (Adaptado de ONUDI, 2016).

Energético	Equivalência
Madeira (kg)	1,5
Óleo combustível (L)	0,7
Carbono (Kg)	0,8
Álcool combustível (L)	1,2
Gasolina (L)	0,8
Gás Natural (m ³)	0,7
Eletricidade (kwh)	6,8

Atualmente, há dois caminhos de utilização do biogás: como fonte de conversão da energia térmica em energia elétrica e mecânica e como fonte de energia direta, pela queima do gás na obtenção de calor. Em países desenvolvidos, o biogás produzido em aterros sanitários é aplicado como fonte energética em processos sanitários e, até mesmo, vendido para várias indústrias. A utilização como fonte direta está relacionada ao seu uso por meio da sua energia térmica, como combustível individual ou complemento a outro combustível, como por exemplo, gás natural e o GLP. Sua utilização na conversão de energia térmica em energia elétrica e mecânica passa pela utilização do biogás como combustível, em secadores, caldeiras, chocadeiras, aquecedores, motores, para a geração de energia elétrica, turbinas a gás, geladeiras dentre outros (PRADO, 2014).

A reação de combustão do gás metano é uma reação exotérmica. No estado padrão, o calor da reação é negativo ($-\Delta H$), sendo assim, liberando energia de 191,755 Kcal.mol⁻¹ (802,3 KJ.mol⁻¹ ou 222,84 watt-hora.mol⁻¹), a 25°C e 1 atm, conforme a reação: CH₄ + 2 O₂ = CO₂ + 2H₂O (PRADO, 2014).

Um metro cúbico de biogás, em sua total combustão é suficiente para: fazer funcionar um motor de 1HP durante 2 horas; fazer funcionar uma incubadora de 1 m³ de capacidade durante 30 minutos; fazer funcionar um refrigerador de 1 m³ de capacidade durante 1 hora; gerar 1.25 kW/h de eletricidade; gerar 6 horas de luz equivalente a uma lâmpada de 60 watts (ONUDI, 2016). Na Tabela 3 encontram-se outros exemplos de consumo de biogás em aparelhos e equipamentos mais utilizados em países em desenvolvimento com seus respectivos rendimentos:

Tabela 3: Consumo de biogás e rendimento de aparelhos utilizados em países em desenvolvimento (Adaptado ONUDI, 2016).

Aparelho	Consumo	Rendimento
Queimador de cozinha	300-600 L/h	50-60%
Lâmpada (60 W)	120-170 L/h	30-50%
Geladeira de 100 l	30-75 L/h	20-30%
Motor a gás	0,5 m ³ /kWh	25-30%
Queimador de 10 kW	2 m ³ /h	80-90%
Cogerador	1 kWe; 0,5 m ³ /kWh; 2 kW térmicos	Até 90%

3.5 Processos de Purificação do Biogás

Independente da aplicação energética o biogás deve ser previamente refinado. A purificação do biogás inclui a eliminação de CO₂, H₂S, NH₃, água e siloxanos (ONUDI, 2016).

Dentro das vantagens na purificação do biogás estão o aumento do seu poder calorífico, com a retirada do gás carbônico e da água, e a remoção do gás sulfídrico. Por ser corrosivo ele diminui a vida útil dos motores utilizados e inviabiliza o seu armazenamento em torpedos de aço, usual na maioria dos veículos (OLIVEIRA, 2009).

A Figura 2 demonstra o tratamento necessário ao biogás em função de sua utilização:

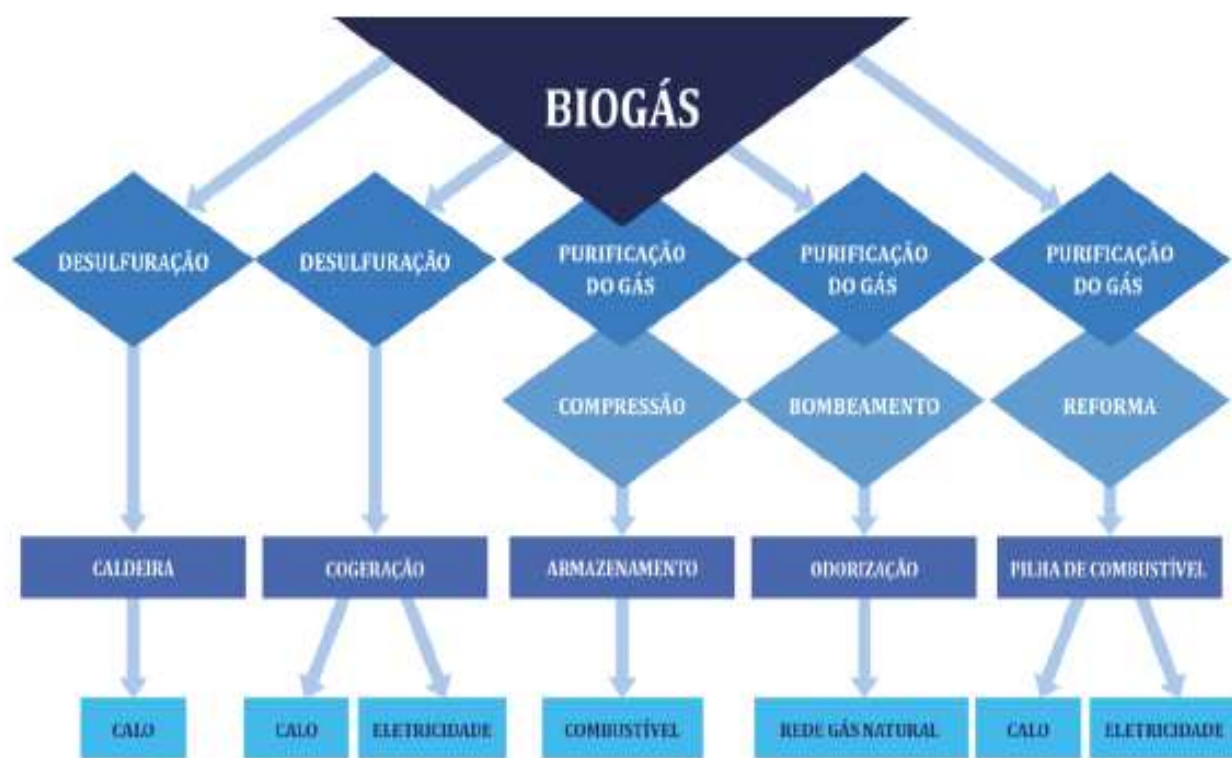


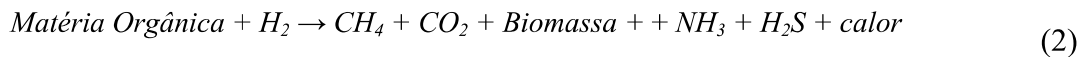
Figura 2: Tratamento necessário ao biogás em função de sua utilização (ONUDI, 2016).

Dentre as características que devem ser acondicionadas no biogás estão: Redução da umidade; Redução e/ou eliminação do H_2S e vestígios de outros gases; Redução do CO_2 e a correção, calibração e controle de pressão (ONUDI, 2016).

Existem diversas tecnologias para proceder as separações, dentre elas estão: Purificação por membrana; Purificação utilizando WS (*Water scrubbing*); Purificação utilizando PSA (*Pressure Swing Adsorption*); Purificação utilizando tecnologia criogénica; Purificação utilizando CO_2 Wash (SILVA, 2009).

3.6 Biodigestão

O processo de digestão anaeróbica envolve a degradação e a estabilização da matéria orgânica (compostos orgânicos complexos) levando à formação de metano, da matéria orgânica estabilizada (biofertilizante) e produtos orgânicos (compostos mais simples e gases) (OLIVEIRA, 2009). Sua representação está apresentada na equação 2 abaixo:



A digestão anaeróbica é considerada, normalmente, como um processo de 2 estágios: No primeiro estágio, grupo de bactérias facultativas anaeróbicas, converte os compostos orgânicos complexos em compostos mais simples. São denominadas formadoras de ácidos ou fermentativas. No segundo estágio, os compostos do estágio anterior são transformados em produtos finais, tais como o metano e o dióxido de carbono. No segundo estágio ocorre ação das bactérias metanogênicas, que são estritamente anaeróbicas (PRADO, 2014).

As bactérias acidogênicas e as áqueas metanogênicas apresentam características diferentes entre si, principalmente em relação a sua velocidade de reprodução, as exigências nutricionais, o pH ótimo, a variação de temperatura crítica, a fisiologia. As bactérias acidogênicas se reproduzem com maior velocidade e são mais resistentes em relação à mudança das condições ambientais em relação às áqueas metanogênicas. (OLIVEIRA, 2009).

Sobre o ponto de vista cinético, pode-se dividir em 4 passos o processo de digestão anaeróbica. Os 4 passos são: a hidrólise; acidogênese; acetogênese; metanogênese.

O processo de digestão anaeróbica apresenta características importantes que a diferenciam das demais tecnologias, tendo a capacidade de depurar e, ao mesmo tempo, produzir energia. Dentro das vantagens da digestão anaeróbica estão:

- Produz-se no gás combustível facilmente aproveitado
- A umidade dos resíduos não é um problema
- Seu consumo energético é muito inferior ao dos processos aeróbicos
- Vários resíduos podem ser tratados de maneira conjunta
- São sistemas simples e fáceis de administrar
- Há uma ampla gama de tecnologias
- Possibilita economia doméstica e o investimento e a manutenção ao longo prazo é barata (ONUDI, 2016).

3.6.1 Hidrólise

A hidrólise é a primeira etapa, onde ocorre a liquefação do meio. O material orgânico complexo é convertido em compostos dissolvidos (matéria orgânica mais simples), ou seja, nesta etapa os polímeros orgânicos são convertidos em compostos simples e solúveis de menor peso molecular, são convertidos em monómeros (SILVA, 2009).

A matéria orgânica está constituída fundamentalmente por três tipos básicos de macromoléculas: Os hidratos de carbono, as proteínas e os lipídios. Assim, durante a etapa de hidrólise eles são transformados em monossacarídeos, aminoácidos e ácidos graxos respectivamente (ONUDI, 2016).

Materiais lignocelulósicos composto majoritariamente por lignina, celulose e hemicelulose, costumam ter uma velocidade de degradação mais lenta, sendo assim uma etapa limitante do processo de hidrólise. Pelo fato da lignina ser uma barreira natural da celulose e hemicelulose, e a lignina ser muito resistente à degradação por parte dos microrganismos anaeróbicos, ela também afeta a biodegradabilidade da celulose e hemicelulose. Pré-tratamentos físico-químicos são recomendados no intuito de diminuir o tempo de retenção do material em reatores (ONUDI, 2016).

As bactérias que usualmente são encontradas nos reatores são *Clostridium sp.*, *Peptococcus anaerobus*, *Bifidobacterium sp.*, *Lactobacillus* e *Staphylococcus*. São bactérias anaeróbicas facultativas ou obrigatórias, que produzem enzimas hidrolíticas no meio extracelular (OLIVEIRA, 2009).

3.6.2 Fase Acidogênica- Acidogênese

A fase acidogênica é a segunda fase da digestão. Esta etapa é conhecida como fase de fermentação, por ocorrer fermentação. Esta fase é dependente da primeira etapa, hidrólise, por utilizar seu produto e os microrganismos da etapa anterior ainda estarem ativos. Os componentes menores derivados da ruptura de moléculas grandes na hidrólise continuam a ser quebrados em moléculas menores (KARLSSON *et al*, 2014).

Nesta etapa, moléculas orgânicas solúveis são fermentadas em compostos que servem de substrato para bactérias metanogênicas (acético, fórmico, H_2) e compostos orgânicos mais reduzidos como: etanol, ácido láctico, ácido valérico, ácido propiônico, onde são oxidados na etapa seguinte por bactérias acetogênicas (ONUDI, 2016).

O H_2 é um interferente na concentração e na produção de ácido no meio. Em baixas concentrações (5 a 50 ppm) nos gases produzidos, a preferência de formação de ácido acético. Em maiores concentrações, a formação de ácido acético é diminuída e ocorre formação de ácidos de cadeias mais longas, como o ácido propiônico, butírico, dentre outros. Na fase de fermentação, álcoois também são produzidos. Sua cinética é rápida devido ao crescimento rápido das bactérias. (ONUDI, 2016).

As bactérias que usualmente são encontradas nos reatores são *Desulphovibrio sp.*, *Corynebacterium sp.*, *Actinomyces* e *Escherichia coli* (OLIVEIRA, 2009).

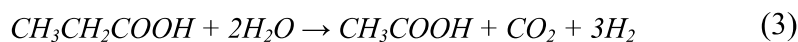
Outro detalhe importante nesta fase é que apesar de minoria, algumas bactérias acidogênese são facultativas e podem metabolizar o material orgânico pela via oxidativa. Isto implica na remoção de oxigênio dissolvido (O_2), que apresenta toxicidade no processo (SILVA, 2009).

3.6.3 Fase Acetogênica

A fase acetogênica é conhecida como a etapa reguladora do processo que permite a transformação dos produtos da acidogênese, isto é, o ácido propiônico, ácido butírico e álcoois em hidrogênio, dióxido de carbono e principalmente em ácido acético (precursor do metano). A transformação dos ácidos graxos, ácidos graxos voláteis e dos álcoois em ácido acético é feita pelas bactérias produtoras de hidrogênio (ONUDI, 2006; SILVA, 2009).

As bactérias nesta etapa são facultativas e vivem uma estreita colaboração com as bactérias metanogênicas e só podem sobreviver em simbiose com o gênero que

consume hidrogênio e os seus produtos gerados são apropriados para as arqueas metanogênicas (OLIVEIRA, 2009; ONUDI, 2016). As Equações 3 e 4 demonstram o processo provocado pelas bactérias acetogênicas:



Dentro das bactérias que participam deste processo estão as que são sintróficas obrigatórias como a *Syntrophomonas* (que transforma o butirato a acetato) e a *Syntrophobacter* (que converte propionato a acetato) e os sintróficos facultativos, que englobam os *Clostridium*, *Acetobacterium*, *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* (VAZOLLER, 2002).

Estas bactérias tem um crescimento mais lento que as acidogênicas, sendo seu tempo mínimo de duplicação de 1,5 a 4 dias (ONUDI, 2016).

3.6.4 Fase Metanogênica

Última etapa do processo, na qual os compostos: ácido acético, hidrogênio e dióxido de carbono são transformados em CH_4 e CO_2 . Nesse estágio, bactérias anaeróbicas metanogênicas convertem ácidos orgânicos simples em Metano e Dióxido de Carbono, com período de duração de 10 dias a 20°C (ONUDI, 2016; SILVA, 2009).

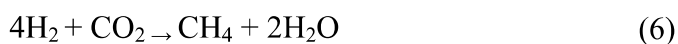
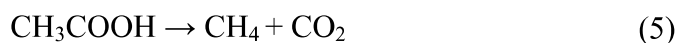
As bactérias implicadas no processo são divididas em tipos de microrganismo, os que degradam o ácido acético, chamadas de bactérias metanogênicas acetoclásticas, e os que consomem hidrogênio, as bactérias metanogênicas hidrogenotróficas. A principal via de formação do metano é a primeira citada, com cerca de 70% de metano produzido (ONUDI, 2016).

Esta etapa é a qual, de uma maneira geral, limita a velocidade de digestão como um todo, especialmente quando ocorrida abaixo de 20°C (SILVA, 2009).

As bactérias metanogênicas acetoclásticas, que produzem metano a partir de acetato, tem um crescimento lento, com tempo mínimo de 2 a 3 dias, e não são afetadas pela concentração de hidrogênio no biogás. Já as bactérias metanogênicas consumidoras de hidrogênio, que produzem metano a partir de hidrogênio (H₂) e dióxido de carbono (CO₂), tem uma função dúbia, produz metano e elimina o H₂ gasoso (ONUDI, 2016).

Dentre os exemplos de bacterias acetoclásticas, estão as arqueas metanogênicas, como a *Methanosarcina* e *Methanosaeta*. E entre as hidrogenotróficas estão as *Methanospirillum*, *Methanosarcina*, *Methanobrevibacter* e *Methanococcus* (VAZOLLER, 2002).

As reações catobólicas ocorridas estão descritas nas Equações 5 e 6 abaixo:



A Equação 5 representa a metanogênese acetotrófica e a Equação 6 representa metanogênese hidrogenotrófica.

Teoricamente, 33% do metano pode ser proveniente da redução de CO₂. O ácido acético pode produzir pelo menos 67% do metano (SILVA, 2009).

A Figura 3 demonstra esquematicamente as 4 etapas do ponto de vista cinético da biodigestão anaeróbica:

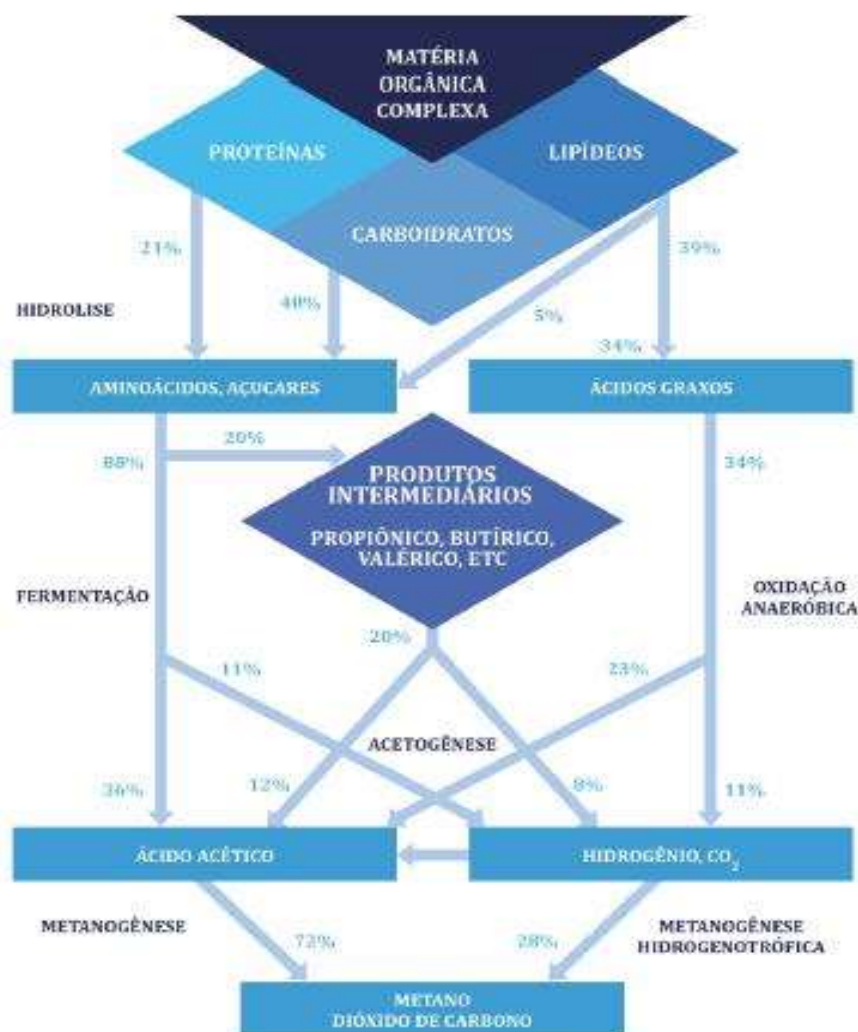


Figura 3: Esquema das reações da digestão anaeróbica (Adaptada de ONUDI, 2016).

3.7 Fatores que influenciam na biodigestão

A biodigestão é um processo biológico no qual existem fatores que influenciam na operação e controle dos processos anaeróbicos, dentre estes fatores estão: Inóculo inicial, carga orgânica, temperatura, pH, tempo de detenção hidráulica (TDH), presença de substâncias tóxicas, relação de nutrientes, presença de sulfato dentre outros.

3.7.1 Inóculo Inicial

O inóculo inicial é importante para equilibrar alguns substratos que carecem de microrganismos adequados. Outro motivo para que se adicionar o inóculo inicial é a baixa velocidade de crescimento dos microrganismos, a adição de um aporte a quantidade suficiente de bactérias (ONUDI, 2016)

Usualmente os inóculos usados vêm de outros digestores, já que os microrganismos comerciais liofilizados não se impõem. Uma concentração inicial em torno de 5% é tratado como suficiente para conseguir a atividade da primeira etapa do processo anaeróbico (ONUDI, 2016).

3.7.2 Carga orgânica

A carga é um termo que indica a quantidade de material novo agregado no processo por unidade de tempo. A carga orgânica engloba os teores de sólidos totais (ST) e de sólidos voláteis (SV). Os sólidos totais é o material que está quando há a evaporação da água do substrato e sólidos voláteis especifica a parte orgânica seca (KARLSSON *et al*, 2014).

A carga orgânica é adaptada à microflora que está ativa, sendo o processo iniciado com uma carga relativamente baixa e sendo aumentada gradativamente conforme o crescimento dos microrganismos (KARLSSON *et al*, 2014).

Caso é adicionado um elevado teor de carga orgânica com baixo número de microrganismos, os microrganismos presentes não são suficientes para a degradação deste material, o que pode resultar na formação de ácidos graxos. Tal situação faz com que o processo de geração de biogás não seja estável porque o pH diminui, fazendo que ocorra desequilíbrio na cadeia de degradação (KARLSSON *et al*, 2014).

3.7.3 *Temperatura*

A temperatura é um parâmetro muito importante na digestão anaeróbica. No processo de biogás são liberadas quantidades muito pequenas de energia em forma de calor onde a maior parte de energia liberada na respiração celular está relacionado ao metano. Portanto, para que os microrganismos se desenvolvam de maneira satisfatória para a produção de biogás (KARLSSON *et al*, 2014).

De maneira geral, a taxa de crescimento de bactéria se duplica a cada aumento de 10°C e com isso as taxas específicas de produção de metano são de 50 a 100% mais altas para a digestão anaeróbica termófila do que para a digestão anaeróbica mesófila (ONUDI, 2016).

Pelo o fato dos microrganismos metanogênicos serem sensíveis a variação bruscas de temperatura, é primordial manter a temperatura constante no biodigestor (OLIVEIRA, 2009).

Existem 3 classificações de microrganismos em relação a sua temperatura ótima no aspecto fisiológico: psicrofílo (5-20°C), mesófilo (25-40°C, sendo ideal de 35-37°C, onde acima de 40°C pode ocorrer desnaturação das enzimas) e as termófilas (45°-65°C, sendo o ideal de 50-60°C). As termófilas podem ser ainda divididas em termotolerantes (50 °C) e estritos (45°C) (ONUDI, 2016).

3.7.4 *pH e Alcalinidade*

Outros fundamentais parâmetros são o pH e alcalinidade. Em pH neutros ou ligeiramente superior, pH entre 7,0 e 8,5, obtém maiores rendimentos. Para que ocorra pH neutro e estável é necessária alta alcalinidade. Mantendo a alcalinidade alta, maior a capacidade tamponante do processo, promovendo assim, pH estável (KARLSSON *et al*, 2014).

O principal fator tamponante é a relação gás-carbônico/bicarbonato, sendo assim sempre deve ter disponível alcalinidade de bicarbonato, para prevenir uma queda do pH

devido à rápida formação de ácidos voláteis do material orgânico complexo (EEA, 2016).

Estudos prévios demonstraram que valores da alcalinidade do bicarbonato acima de 2500 mg/l garantem um bom controle do pH e uma adequada estabilidade do sistema. A concentração de ácidos voláteis sob condições estáveis costuma estar entre 50 e 100 mg/l. Quando se mantém uma relação constante de ácidos voláteis/alcalinidade $< 0,25$, assegura-se a capacidade tampão do sistema (ONUDI, 2016).

A Tabela 4 abaixo demonstra os diferentes grupos bacterianos presentes e seu pH ideal para manutenção de suas atividades.

Tabela 4: Grupos bacterianos com seus respectivos pH ideais de atividade (ONUDI, 2016).

Grupo Bacteriano	pH
Bactérias fermentativas	7,2 - 7,4
Bactérias acetogênicas	6,0 – 6,2
Bactérias metanogênicas	6,5 – 7,5

Se o pH do meio é inferior a 6,5, reduz-se a atividade das bactérias metanogênicas acetoclásticas, enquanto que a um pH inferior a 5,5, sua atividade cessa completamente. Abaixo de 4,5 detém-se a atividade de todos os microrganismos no sistema. Para que todo o processo anaeróbico se desenvolva adequadamente em um único digestor, o pH deve possuir um valor próximo de 7, mantendo-o entre 6,6-7,6. Uma das dificuldades é a manutenção do pH acima de 6,6. Os ácidos orgânicos são produtos intermediários produzidos pelos microrganismos. A presença de uma concentração muito alta de ácidos orgânicos reduz o pH, a produção de metano, e pode causar a acidificação ou parada do digestor (ONUDI, 2016).

3.7.5 *Tempo de Retenção Hidráulica*

O tempo de retenção ou de residência hidráulica (TRH) é o tempo necessário para substituir todos os materiais (volume total) no digestor. Ou seja, na produção de biogás é o tempo necessário em converter os hidrocarbonetos em gás metano e dióxido de carbono. Isto implica na redução do teor sólidos voláteis (KARLSSON, 2014).

O TRH pode ser definido como o quociente entre o volume do digestor e o volume diário de carga, vazão ou velocidade volumétrica de fluxo (ONUDI, 2016). A Equação 7 descreve sua definição numérica:

$$TRH = V/Q \quad (7)$$

Onde: TRH = tempo de retenção hidráulica (d)

V = volume de reator (m³)

Q = vazão afluyente (m³/d)

A metanogênese e a hidrólise são as cinéticas limitantes da velocidade na digestão anaeróbica. Normalmente, a metanogênese é a velocidade limitante do processo. É importante para o desenho de digestores considerarem tempos de retenção suficientemente largos para que ocorra a degradação dos sólidos voláteis (ONUDI, 2016).

A quantidade de matéria orgânica degradada aumenta ao aumentar o TRH, enquanto a produção volumétrica de metano (produção por unidade de volume do digestor) diminui uma vez superada o ideal. Portanto, é necessário determinar, para cada tipo de resíduo e de digestor, o tempo de retenção que otimiza o processo (ONUDI, 2016).

A Tabela 5 demonstra o tempo de retenção de diferentes resíduos animais:

Tabela 5- Valores de TRH para diferentes resíduos animais (ONUDI, 2016).

Matéria Prima	TRH (dias)
Esterco bovino líquido	20-30
Esterco suíno líquido	15-25
Esterco de ave líquido	20-40

A Tabela 6 faz um comparativo com a produção de biogás a partir de 1 kg de sólidos voláteis de lodo de esgoto fresco e TRH habitual obtidos em função de diferentes temperaturas.

Tabela 6: Produção de biogás a partir de 1Kg de sólidos voláteis de lodo de esgoto fresco (base seca) e TRH habitual obtidos em função de diferentes temperaturas (Adaptada VITORATTO, 2004).

Temperatura °C	Produção de biogás L/kg de SV	TRH (dias)
10	430	90
15	530	60
20	610	45
25	710	30
30	760	27

Pela a Tabela 6 é perceptível que com o aumento da temperatura, o tempo de retenção é diminuído e a produção de biogás aumentada.

3.7.6 Presença de Substâncias tóxicas

A diminuição na produção de metano e o aumento da concentração de ácidos graxos voláteis no meio pode significar a presença de inibidores, que apresentam toxicidade para os microrganismos (ONUDI, 2016).

Os compostos tóxicos podem ter diferentes efeitos sobre as bactérias, podem ser bactericida quando as bactérias não se adaptam a determinadas concentrações do tóxico e bacteriostático quando se adaptam a determinadas concentrações de tóxico (EEA, 2016). Por outro lado, a temperatura também exerce um papel importante no efeito tóxico de determinados compostos, como: amônio, sulfureto, ácidos graxos voláteis, etc (ONUDI, 2016).

As bactérias metanogênicas são geralmente as mais sensíveis, ainda que geralmente todos os grupos de microrganismos que participam no processo sejam afetados (ONUDI, 2016).

Os principais compostos tóxicos são as substâncias geradas como produtos intermediários como H_2 , AGV, H_2S ; substâncias que entram no digestor de forma acidental como O_2 e tóxicos; cátions de metais alcalinos e alcalino-terrosos; amoníaco e amônio; metais pesados; compostos com ligações carbono-carbono insaturados; compostos clorados; cianetos (ONUDI, 2016).

3.7.7 Relação de nutrientes

O processo de biodigestão anaeróbica requer baixa necessidade de nutrientes, devido a seu baixo índice na produção de biomassa. Os principais nutrientes necessários são o carbono, nitrogênio e enxofre (ONUDI, 2016).

Tabela 7: Relação C/N para diferentes substratos (ONUDI, 2016).

Substrato	Relação C/N
Chorume suíno	18-20
Chorume bovino	15-24
Estrume	15
Resíduos de matadouro	1-8
Resíduo de cozinha	25
Resíduos de frutas	35
Lodos de depuradora	16
Peles de batata	25
Cevada, arroz, trigo	60-90

Usualmente é recomendado uma relação de carbono/nitrogênio dentre 20 a 30:1 em massa (VITORATTO, 2004). Porém pra substratos puros esta relação mudar, como mostrado na Tabela 7 acima.

Recomenda-se que a relação carbono/fosforo seja de 100 a 150:1 (VITORATTO, 2004). As necessidades de enxofre não menores do que a de fosforo e o enxofre em excesso pode ocasionar mau cheiro pela a presença de sulfureto de hidrogênio (H_2S). E além do mal cheiroso, o sulfureto é gás toxico e quando queimando, juntamente com o biogás, pode produzir graves problemas de corrosão (ONUDI, 2016).

3.7.8 Formação de ácido sulfídrico

Nos biodigestores apresentam também sulfobactérias, nas quais são capazes de reduzir sulfatos a sulfetos utilizando o hidrogênio produzido pelas bactérias

metanogênicas. Sua presença pode indicar uma competição com as metanobactérias reduzindo a formação de metano. A utilização do hidrogênio pelas sulfobactérias, impossibilitam as bactérias metanogênicas a utilizar, prejudicando o aproveitamento energético do biogás (ONUDI, 2016). Além disto, apresenta o problema de corrosividade como já descrito no trabalho.

3.8 Biodigestores

O biodigestor é uma câmara na qual ocorre um processo bioquímico denominado digestão anaeróbia, que tem como resultado a formação de biofertilizantes e produtos gasosos, principalmente o metano e o dióxido de carbono (biogás) (PRATI, 2010).

Geralmente, um biodigestor é constituído de duas partes distintas, a câmara de fermentação e o gasômetro. A câmara de fermentação é a parte que comporta a mistura do material a ser degradado, com água, e ocorre a produção do biogás. A câmara de fermentação é disposta de agitador, coroa, tela de retenção e dreno para descarga (GESTÃO DE ENERGIA, 2002/2003).

O agitador tem a função de evitar que o CO_2 formado na biodigestão forme bolha. A coroa é o estreitamento da câmara na altura média, para evitar a perda de biogás. A tela de retenção de sólidos, sendo uso opcional, é utilizada quando o material a ser digerido é fibroso, com a função de manter o material abaixo da altura da coroa. Já o dreno para descarga tem a função de permitir a descarga do material orgânico (GESTÃO DE ENERGIA, 2002/2003).

Gasômetro ou campânula tem como função a captação e armazenamento do gás, permitindo ainda uma pressão de saída constante (GESTÃO DE ENERGIA, 2002/2003).

Em relação ao fornecimento de biogás é classificados os biorreatores em contínuos e descontínuos (OLIVEIRA, 2009).

Em relação à alimentação do biodigestor, é classificado em batelada ou alimentação contínua (GESTÃO DE ENERGIA, 2002/2003).

O biodigestor em batelada é alimentado e após todo o material ser digerido, é esvaziado e realimentado (GESTÃO DE ENERGIA, 2002/2003). Recomendado para pequenas produções de biogás e trata-se de um sistema simples e de pequena exigência operacional. Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbico, ou vários tanques em série. Este tipo de biodigestor é abastecido de uma única vez, portanto não é um biodigestor contínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o término do período efetivo da produção de biogás (SILVA, 2009).

A Figura 4, demonstra um biodigestor modelo batelada em corte na vista frontal:

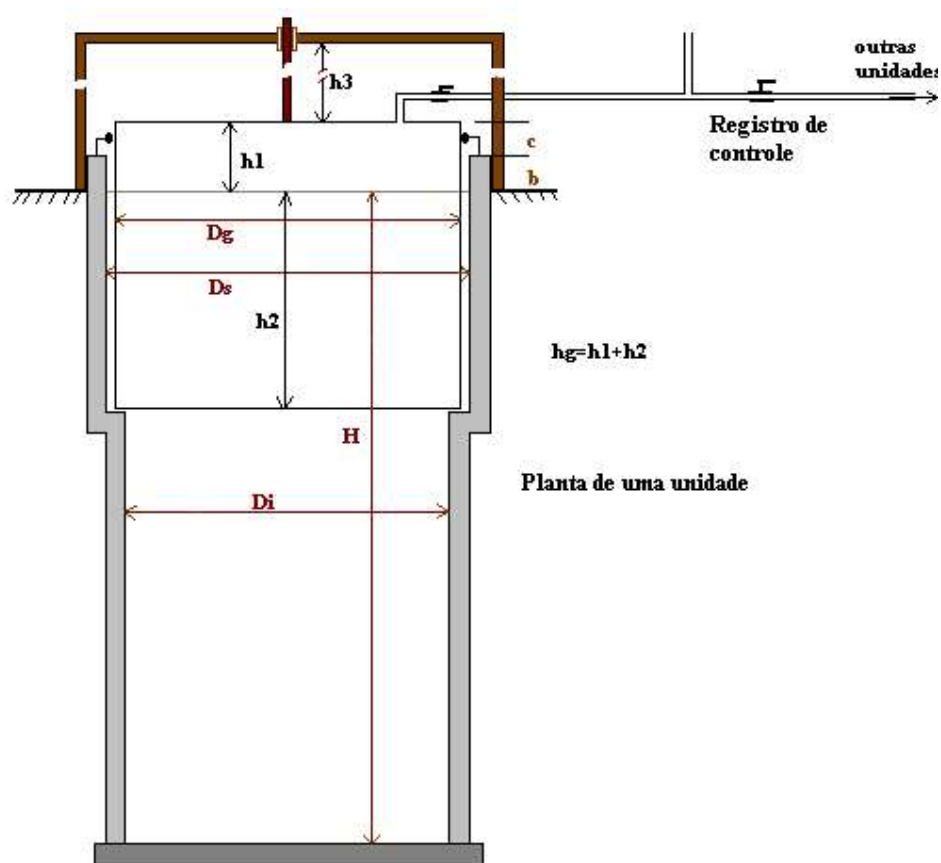


Figura 4: Biodigestor modelo Batelada em sua vista frontal (DEGANUTTI, 2002).

Onde: **D_i** é o diâmetro interno do biodigestor;

D_s é o diâmetro interno da parede superior;

D_g é o diâmetro do gasômetro

H é a altura do nível do substrato;

h_1 é a altura ociosa do gasômetro;

h_2 é a altura útil do gasômetro;

h_3 é a altura útil para deslocamento do gasômetro;

b é a altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato;
c é a altura do gasômetro acima da parede do biodigestor.

O biodigestor por alimentação contínua é alimentado continuamente, sendo a quantidade que for adicionada é retirada, produzindo biogás de maneira contínua (GESTÃO DE ENERGIA, 2002/2003). Os 3 principais modelos são: o Indiano, o Chinês e o Modelo da Marinha Brasileira.

O modelo Indiano é um dos mais usados devido à sua funcionalidade. Quando construído, apresenta o formato de um poço, que é o local onde ocorre a digestão da biomassa, coberto por uma tampa cônica. A tampa contém uma campânula flutuante, como gasômetro, que controla a pressão do biogás e permite a regulação da emissão do mesmo. Outra razão para sua maior difusão está no fato de o outro modelo mais usual, o Chinês, exigir a observação de muitos detalhes para sua construção (SILVA, 2009).

Este modelo possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão no interior deste constante (DEGANUTTI, 2002).

O fato de o gasômetro estar disposto ou sobre o substrato ou sobre o selo d'água, reduz as perdas durante o processo de produção do gás constante (DEGANUTTI, 2002).

O gasômetro pode ser construído em chapas de ferro ou em fibras de vidro. A vantagem de ser feito de fibra de vidros é não sofrer corrosão devido à presença de gás sulfídrico, porém é necessário adicionar pesos sobre o mesmo a fim de aumentar a pressão do biogás (OLIVEIRA, 2009).

A câmara de digestão pode ser construída em alvenaria, concreto ou aço, abaixo ou no nível do solo. Assim, o processo de digestão é mais susceptível a variações de temperatura. De mesma maneira, a câmara de digestão for de aço, ela está mais suscinta a sofrer com corrosão (OLIVEIRA, 2009).

O resíduo a ser utilizado para alimentar o biodigestor Indiano, deverá apresentar uma concentração de sólidos totais (ST) não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de

entrada e saída do material. O abastecimento também deverá ser contínuo, ou seja, geralmente é alimentado por dejetos bovinos e/ou suínos, que apresentam certa regularidade no fornecimento de dejetos (DEGANUTTI, 2002).

A figura 5 abaixo representa em corte o biodigestor Indiano:

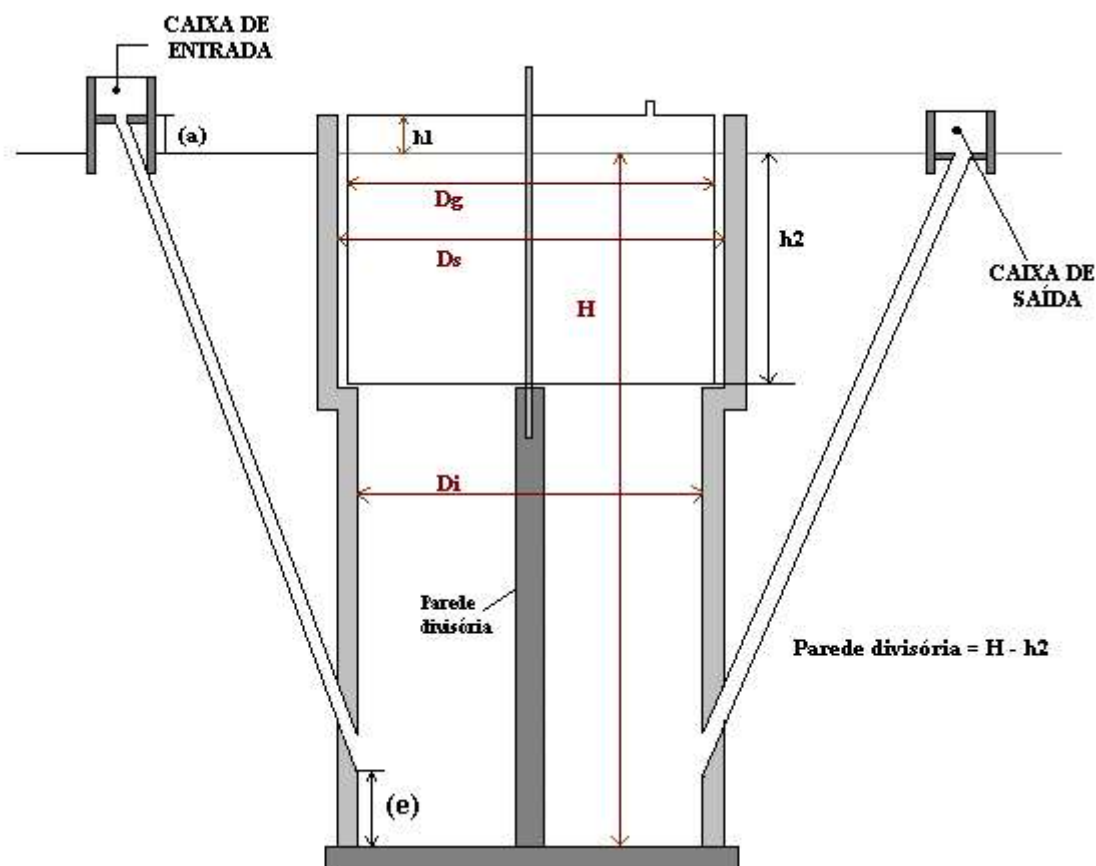


Figura 5: Representação ilustrativa de um biodigestor modelo Indiano (DEGANUTTI, 2002).

Onde: **H** - é a altura do nível do substrato;
Di - é o diâmetro interno do biodigestor;
Dg - é o diâmetro do gasômetro;
Ds - é o diâmetro interno da parede superior;
h1 - é a altura ociosa (reservatório do biogás);
h2 - é a altura útil do gasômetro.
a - é a altura da caixa de entrada.
e - é a altura de entrada do cano com o afluente.

O modelo Chinês de biodigestor por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão. Por ser constituído quase totalmente em alvenaria, dispensa o uso de gasômetro em chapa de aço, resultando em menor custo, porém pode haver problemas de vazamento se a mesma não for bem vedada e impermeabilizada (DEGANUTTI, 2002).

Opta-se pela a utilização deste tipo de biodigestor em instalações de pequeno e médio porte, onde a produção de biogás é alta. Isso se deve ao fato de que uma parcela do gás formado é liberada para a atmosfera com a intenção de reduzir parcialmente a pressão interna do gás (OLIVEIRA, 2009).

Semelhante ao modelo Indiano, o substrato deverá ser fornecido continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material (DEGANUTTI, 2002). A figura 6, mostra em corte a visão frontal do biodigestor modelo Chinês:

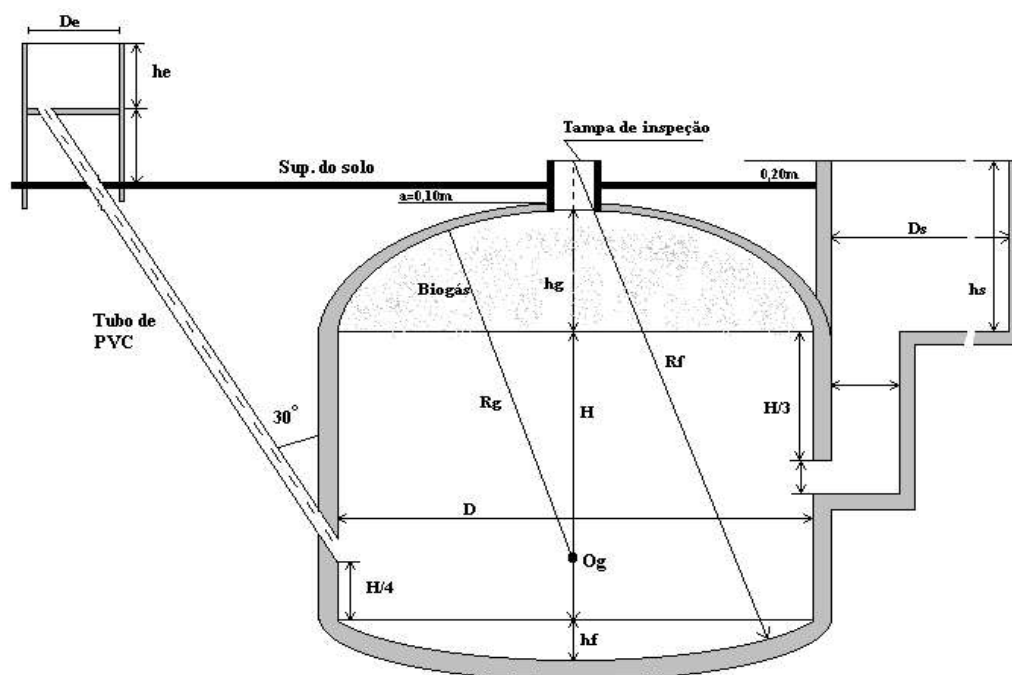


Figura 6: Biodigestor modelo Chinês em corte na visão frontal.

Onde: **D** - é o diâmetro do corpo cilíndrico;
H - é a altura do corpo cilíndrico;
Hg - é a altura da calota do gasômetro;
hf - é a altura da calota do fundo;
Of - é o centro da calota esférica do fundo;
Og - é o centro da calota esférica do gasômetro;
he - é a altura da caixa de entrada;
De - é o diâmetro da caixa de entrada;
hs - é a altura da caixa de saída;
Ds - é o diâmetro da caixa de saída;
A - é o afundamento do gasômetro;

O Modelo da Marinha Brasileira foi desenvolvido pela Marinha do Brasil na década de 70. Foram criados 3 modelos neste período: o Marinha I, com 5,5 m³ de capacidade para resíduo e produção de 1,8 a 3,0 m³ de biogás ao dia, o Marinha II com 22 m³ de capacidade para resíduo e produção de 6 a 10 m³ de biogás ao dia, e o Marinha III, com a capacidade para resíduo e produção de 15 a 30 m³ de biogás ao dia, além de mais alguns modelos especiais (OLIVEIRA, 2009).

O biodigestor desenvolvido pela Marinha do Brasil apresenta uma base quadrangular, com paredes revestidas por lona impermeável e uma cúpula de lona preta também impermeável. É um modelo mais raso e longo, o que lhe garante uma maior produtividade de gás por massa fermentada. Sua utilização encontra maior barreira no que diz respeito ao espaço físico disponível para a instalação. Por ter uma profundidade pequena, necessita de uma grande área superficial para que consiga armazenar uma grande quantidade de resíduos (PRATI, 2010).

Esse modelo é o mais indicado para projetos industriais e agroindustriais por ser versátil ao uso de diferentes resíduos orgânicos e ser capaz de armazenar grande quantidade de resíduos passíveis a sofrer fermentação anaeróbica, produzindo assim uma grande quantidade de biogás e estabilizando os dejetos que podem ser utilizados como biofertilizantes (PRATI, 2010).

Atualmente esse modelo de biodigestor é o mais difundido no Brasil devido ao aperfeiçoamento da manta impermeável que passou a ser confeccionada em Policloreto

de Vinila (PVC), o que confere um menor custo e maior facilidade de instalação quando comparado com modelos antigos, como o Indiano e o Chinês, além de apresentar maior resistência à corrosão provocada pela água e pelo ácido sulfídrico presente na mistura gasosa. Outras vantagens é que o mesmo pode ser utilizado em pequenos como em grandes projetos, podendo receber grandes quantidades de resíduos e não sofrer rachaduras em sua estrutura como ocorre com o modelo Chinês, devido a composição do solo brasileiro que sofre muita acomodação, o que exige monitoramento e manutenção constante, pois pode provocar perda de gás (OLIVEIRA, 2009; PRATTI, 2010).

Para este modelo também é recomendada a construção abaixo do nível do solo para evitar bruscas variações de temperatura que possam ocorrer, além de aproveitar o calor da terra e o calor absorvido pela manta preta exposta ao sol, já que 90% do aquecimento do biodigestor são obtidos com raios solares incidentes na lona preta, o que acaba garantindo uma melhor temperatura de funcionamento e consequentemente uma maior produção de biogás com maior concentração de metano (PRATTI, 2010).

Devido à utilização da manta como gasômetro, que confere uma baixa pressão à mistura gasosa, a distância máxima do ponto de consumo não deve ser superior a 50 metros, sendo que se for necessário uma maior pressão é recomendado o uso de um compressor (PRATTI, 2010).

O biogás só apresenta risco de explosão se misturado com oxigênio dentro do biodigestor. Essa situação acontece no início da operação quando ocorre o recebimento das primeiras cargas de dejetos. Para evitar esse problema é recomendada a liberação da primeira produção de biogás, evitando assim sua queima e consequentemente uma possível explosão. No início da operação os registros de saída do biogás devem estar fechados até que a manta que retém o biogás esteja completamente inflada. Em seguida libera-se todo o biogás contido até a manta retornar a sua posição inicial, após fecha-se os registros de saídas para que novamente a manta se infle, a partir deste momento o biodigestor pode ser usado normalmente. Mesmo que exista vazamento no biodigestor, o ar não entrará no biodigestor, pois a pressão interna da manta é maior que a pressão atmosférica, mas assim que o vazamento seja detectado o mesmo deve ser reparado para evitar quaisquer futuros problemas (PRATTI, 2010).

A figura 7 e a figura 8 representam em corte o biodigestor do modelo desenvolvido pela Marinha do Brasil.

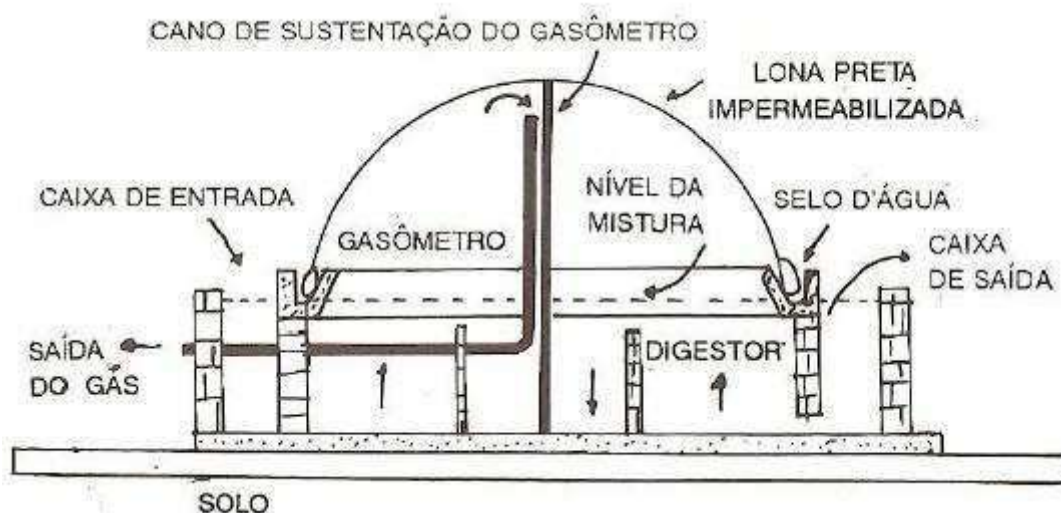


Figura 7: Representação em corte de um biodigestor do modelo desenvolvido pela Marinha do Brasil (PRATTI, 2010).

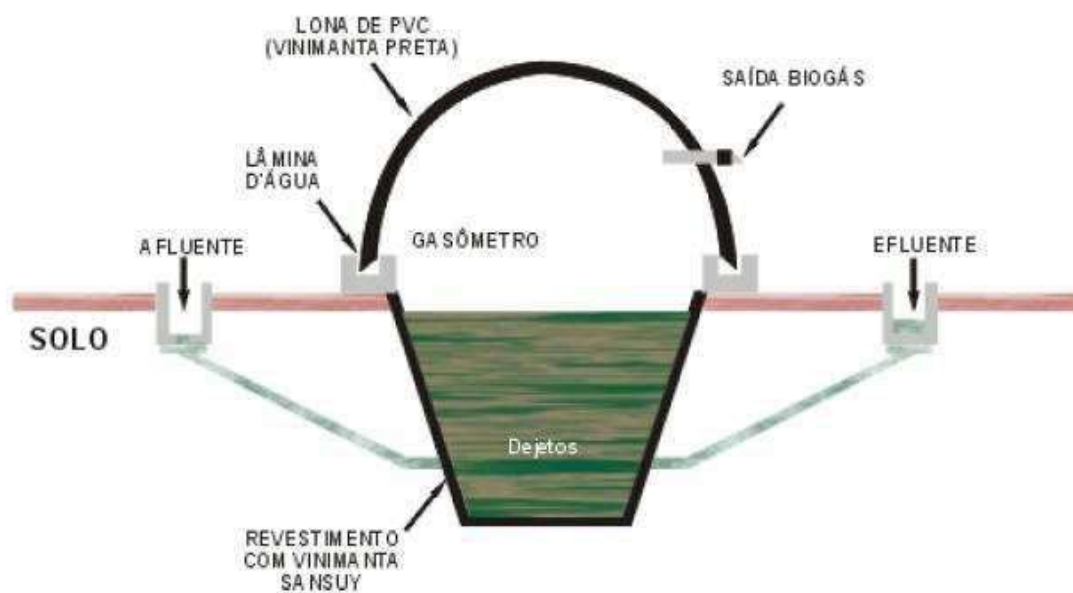


Figura 8: Representação em corte de um biodigestor simplificado do modelo desenvolvido pela Marinha (OLIVEIRA, 2009).

A Figura 8 representa um modelo desenvolvido pela Marinha do Brasil mais simplificado, com a construção de um reservatório sem paredes divisórias (OLIVEIRA, 2009).

Ainda como equipamento para a produção e captação do biogás se tem os aterros sanitários.

Segundo a (ABNT, 1984) Associação Brasileira de Normas Técnicas, aterro sanitário é definido sendo como: “Técnica de disposição de resíduos urbanos no solo, sem causar danos à saúde pública e a sua segurança, minimizando os impactos ambientais; método este que utiliza princípios de engenharia para confinar os resíduos a menor área possível e reduzi-los ao menor volume permissível, cobrindo-os com uma camada de terra na conclusão de cada jornada de trabalho, ou a intervalos menores se for necessário”. Onde sua construção deve seguir todas as normas vigentes, sendo alternativa que reúne as maiores vantagens considerando a redução dos impactos ocasionados pelo descarte dos resíduos sólidos urbanos (CARNEIRO, 2009).

O biogás normalmente é coletado quando parte do aterro já chegou a sua capacidade máxima de acúmulo de resíduo e o sistema padrão de coleta de biogás de aterro possui três componentes centrais: poços de coleta e tubos condutores, um sistema de tratamento, e um compressor (CARNEIRO, 2009; FIGUEIREDO, 2011). Além disto, a maioria dos aterros sanitários com sistema de recuperação energia possui *flare* (dispositivo utilizado na ignição e queimar do biogás) para queima do excesso do biogás ou para uso durante os períodos de manutenção dos equipamentos de geração de energia elétrica.

A Figura 9 demonstra a rede de captação de biogás num aterro.

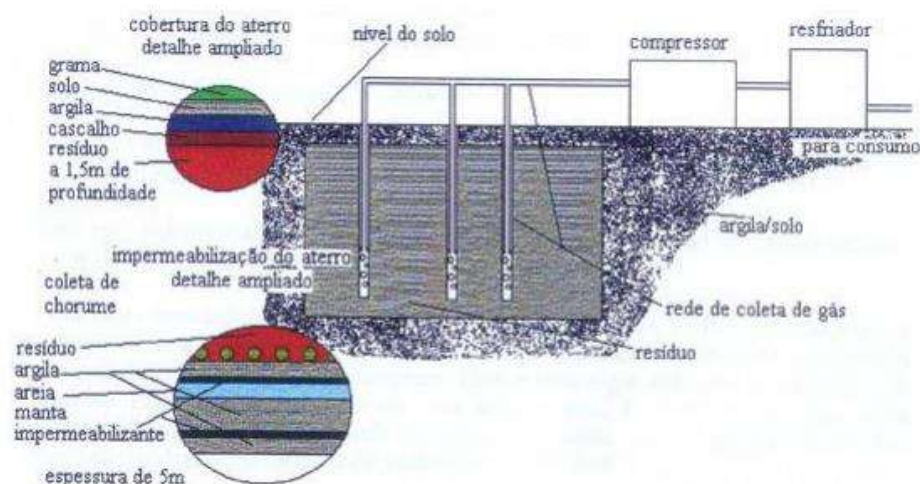


Figura 9: Rede de captação de biogás (FIGUEIREDO, 2011).

Na captação de biogás num aterro, a coleta de gás é feita por tubos conectados a uma tubulação lateral que transporta o gás para um coletor principal. O biogás é succionado do aterro por meio de pressão negativa nos tubos de transmissão. Para uma operação mais segura, econômica e com melhores condições para os trabalhadores, uma solução é ter um tubo para cada poço ligado a uma bomba e uma casa de regulação (FIGUEIREDO, 2011).

O sistema de tratamento ocorre na remoção do condensado do gás do sistema de coleta pra que não ocorra o bloqueio do sistema. Este condensado ocorre pela diferença de temperatura que há entre o gás (temperatura elevada) e as tubulações (FIGUEIREDO, 2011).

O compressor realiza a sucção do gás e também pode ter o papel de comprimir o gás antes de entrar. O tamanho, tipo e número de compressores necessários dependerão do fluxo de gás e do nível de compressão desejados, que pode ser determinado pelo equipamento de conversão energética (FIGUEIREDO, 2011).

Para estimar a geração de biogás e seus gases constituintes, em aterros utilizam-se diversos softwares. Dentre os mais utilizados no mundo é o LandGEM,, “*Landfill Gas Emissions Model*”.

LandGEM) é uma ferramenta de estimação automática que usa o programa de cálculo “Microsoft Excel” para poder estimar as emissões produzidas em um aterro de RSU, tanto de biogás, quanto de cada um dos gases que compõem o mesmo, como o metano, o dióxido de carbono, os componentes orgânicos que não sejam metano e outros tipos de contaminantes atmosféricos que poderiam ser produzidos no mesmo devido à natureza heterogênea dos RSU depositado (ONUDI, 2016).

O modelo está baseado em uma equação de primeira ordem, na qual se estima a quantidade de metano produzido por ano no aterro e, a partir da mesma, estimam-se as demais quantidades de emissões de gases contaminantes (ONUDI, 2016).

A equação possui fatores de emissão ou parâmetros essenciais, que incluem fatores tão importantes na produção de biogás como a umidade, a temperatura, a quantidade de nutrientes disponíveis para os microrganismos, o pH, a composição dos RSU, a presença de resíduos perigosos (ONUDI, 2016).

Os dados requeridos pelo modelo LandGEM para estimar as emissões produzidas em um aterro de RSU são, basicamente, ano de abertura e de fechamento e a quantidade anual de RSU depositada e a capacidade total calculada do aterro. Caso não se saiba o ano de fechamento, é calculado considerando a quantidade de RSU anual introduzida e a capacidade total calculada do aterro (ONUDI, 2016).

O modelo limita há 80 anos a vida do aterro e estima os modelos das emissões produzidas no mesmo somente em 80 anos (ONUDI, 2016).

ANÁLISE DE PRODUÇÃO DE INOVAÇÃO TECNOLÓGICA DE BIOGÁS NO BRASIL ENTRE OS ANOS DE 2006-2016

Com auxílio do *site* do INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial), fez-se um levantamento das inovações tecnológicas ocorrida no Brasil dentre os anos de 2006-2016 em relação ao número de patentes. Para o levantamento foi utilizado o termo “biogás” e “biodigestor” em título e resumo e os termos “orgânicos” “equipamentos”, “energia” e “biodigestor” em seu resumo. Os termos utilizados teve-se como o intuito ocorrer um afunilamento das pesquisas, começando a abordar assuntos mais amplo e posteriormente afunilado no intuito de ter resultados mais convergentes. Os resultados das pesquisas estão apresentados nas figuras abaixo:

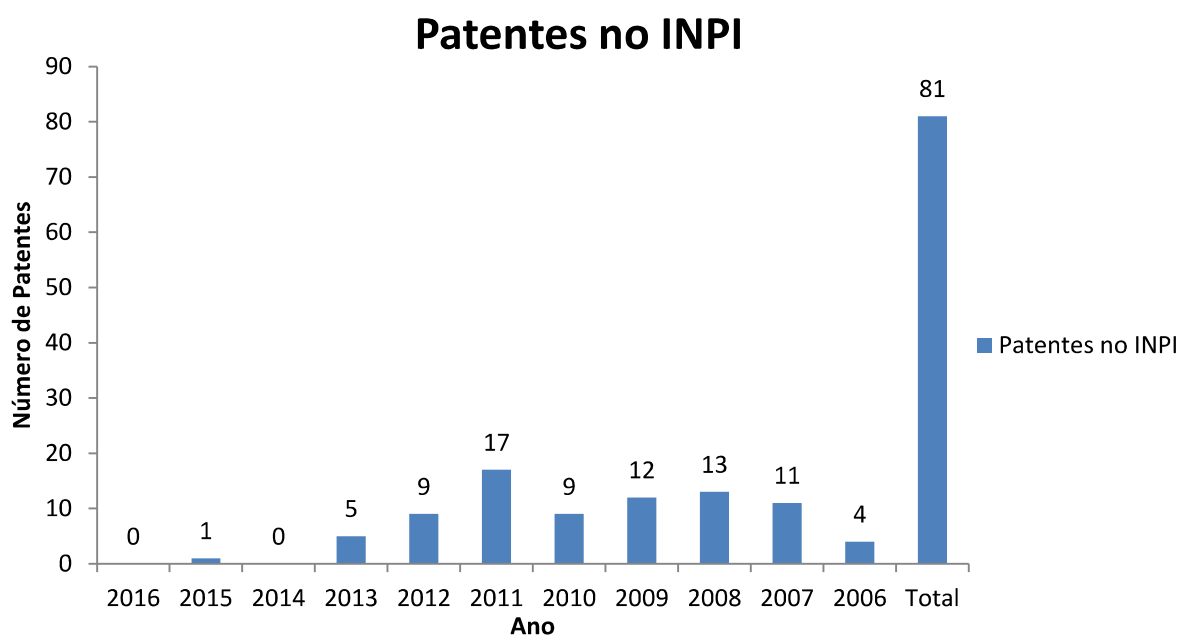


Figura 10:Gráfico referente ao número de patentes no INPI entre 2006 e 2016 com o termo “biogás” em seu título (AUTOR, 2016).

A figura 10 demonstra os números de todas as patentes publicadas no INPI do período de 2006 a 2016, até a data de escrita do trabalho, relacionando o termo “biogás” como título das patentes. Nota-se que na primeira metade do período (de 2006 a 2011)

houve a maioria das patentes publicadas, 49 de 81 totais e o ano de 2011 com o maior numero de patentes publicadas em um só ano com 17.

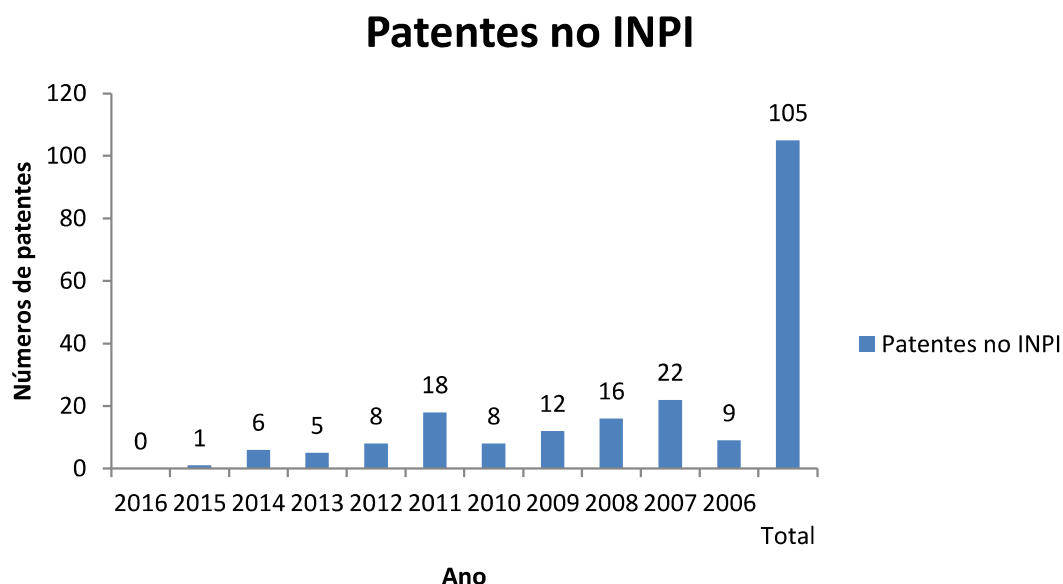


Figura 11: Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 e 2016 com o termo "biogás" em seu resumo (AUTOR, 2016).

Na figura 11 demonstra-se os números de patentes e seus respectivos anos na publicação com o termo “biogás” em seu resumo. Em um total de 105 patentes neste período, ate a data de escrita deste trabalho, também nota-se uma imensa maioria de patentes publicadas no período pré-2011, num total de 67 patentes. Os anos de 2007 e 2011 foram os anos com maiores números de publicações com 22 e 18 trabalhos publicados respectivamente.

Na figura 12 é representada o gráfico mostrando os números de publicações totais e anuais dentre o período de 2006 a 2016, até a data de escrita deste trabalho, com o termo “biogás” no título e no resumo, e novamente nota-se uma imensa maioria de trabalhos publicados anteriormente ao ano de 2011 num total de 36 patentes publicadas dentro deste período. Novamente o ano de 2011 e o ano de 2008 foram os anos de maiores publicações de patentes, no total de 10 cada um ano.

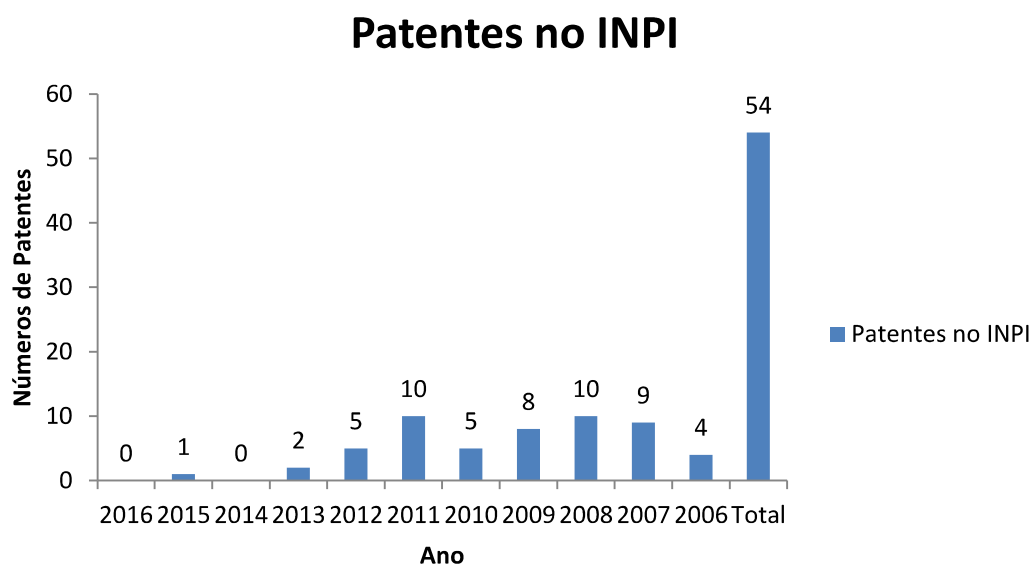


Figura 12: Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 e 2016 com o termo "biogás" em seu título e resumo (Autor, 2016).

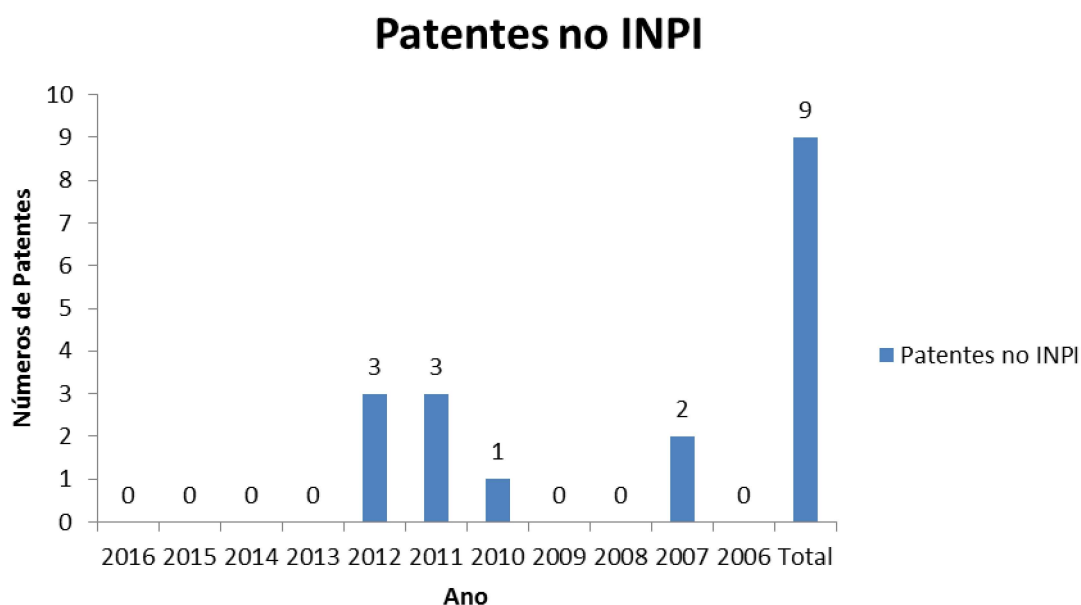


Figura 13: Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 e 2016 com o termo "biogás" em seu título e os termos "biogás" e "orgânico" em seu resumo (AUTOR, 2016).

Na figura 13 é demonstrada o gráfico com o termo “biogás” em seu título e os termos “biogás” e “orgânico” em seu resumo. No período de 2006 a 2016 até a data de escrita deste trabalho, o levantamento feito demonstra apenas 9 trabalhos publicados nestas condições, onde o ano de 2011 e 2012 tiveram 3 publicações cada.

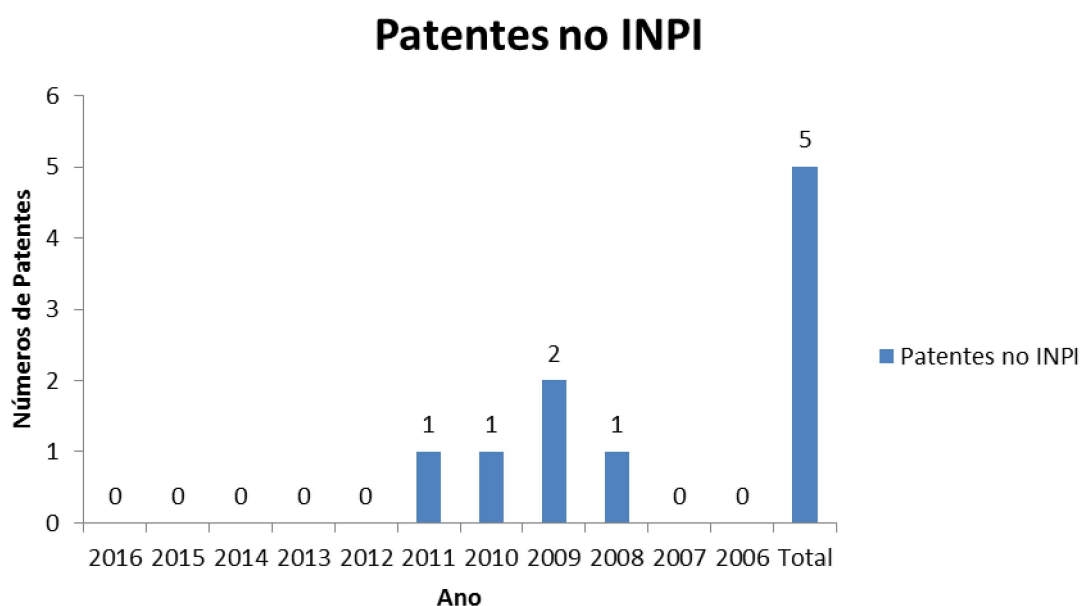


Figura 14: Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 e 2016 com o termo "biogás" em seu título e os termos "biogás" e "equipamentos" em seu resumo (AUTOR, 2016).

Na figura 14 é demonstrada o gráfico relacionando os números de patentes publicadas de 2006 a 2016, até a data de escrita deste trabalho com o termo “biogás” no título e os termos “biogás” e “equipamentos” em seu resumo. Em seu total foram 5 patentes publicadas onde todas foram dentro o período de 2008 a 2011.

A figura 15 demonstra os números de patentes no INPI de 2006 a 2016, até a data de escrita deste trabalho, relacionados com o termo “biogás” em seu título e os termos “biogás” e “energia” em seu resumo. Neste período, foram publicados 19 patentes, todas entre 2006 e 2012, com destaque para os anos de 2007 e 2009 com 4 publicações cada.

Patentes no INPI

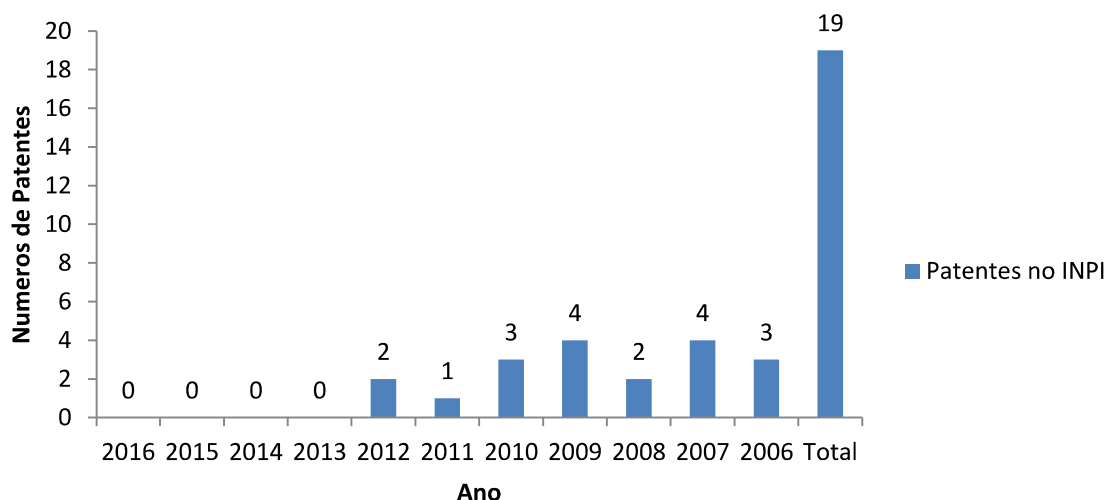


Figura 15: Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 e 2016 com o termo "biogás" em seu título e os termos "biogás" e "energia" em seu resumo (AUTOR, 2016).

A figura 16 demonstra o gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 até a data de escrita deste trabalho, com os termos “biogás” e “equipamentos” em seu resumo. O levantamento feito demonstram 7 patentes no INPI, todas publicadas no período entre 2008 a 2012 com 3 publicações em 2009.

Patentes no INPI

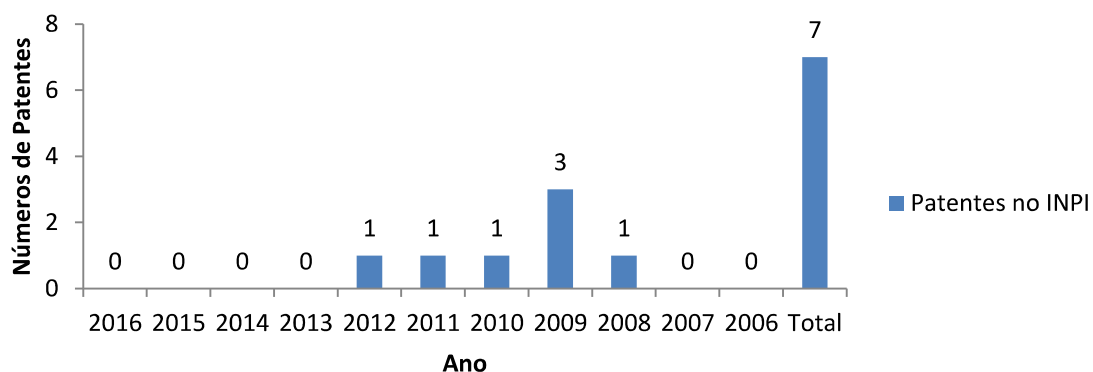


Figura 16: Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 e 2016 com os termos "biogás" e "equipamentos" em seu resumo (AUTOR, 2016).

A figura 17 demonstra o gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 até a data de escrita deste trabalho, com os termos “biogás” e “organismo” em seu resumo. Neste período foram publicados 14 patentes no INPI, e todas no período

entre 2007 a 2013, com exceção do ano de 2009. O ano de 2011 foi o ano com maior número de publicações, cinco.

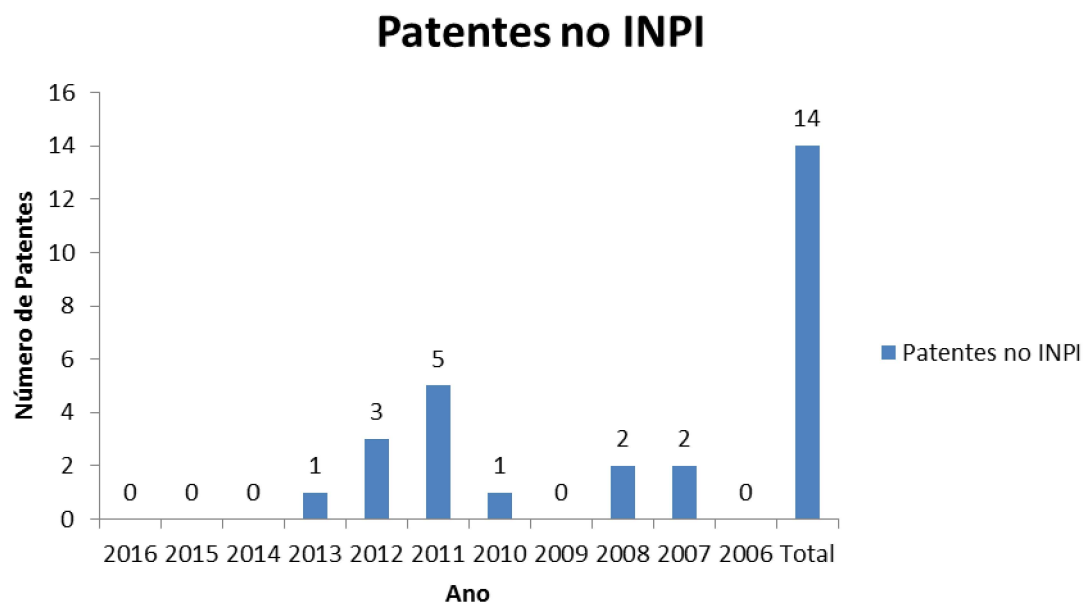


Figura 17: Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 e 2016 com os termos "biogás" e "orgânico" em seu resumo (AUTOR, 2016).

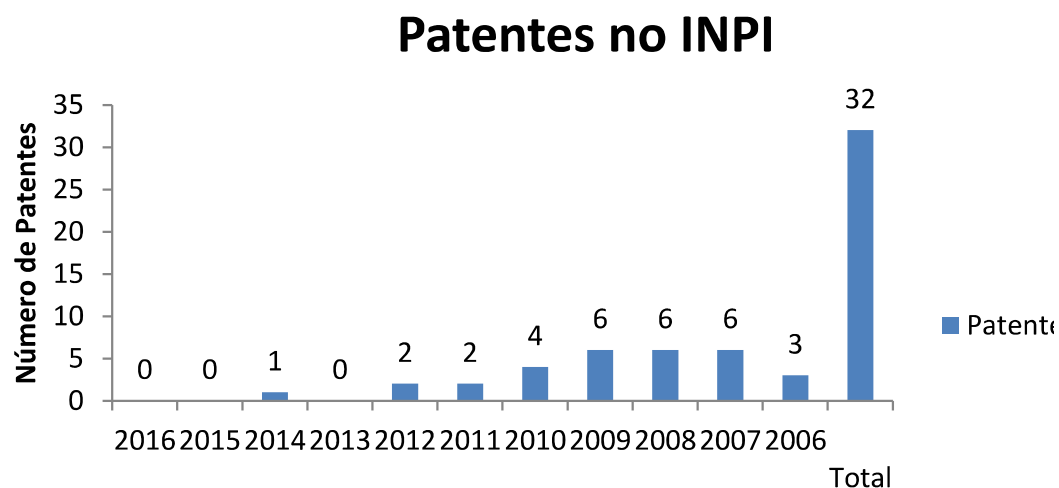


Figura 18: Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 e 2016 com os termos "biogás" e "energia" em seu resumo (AUTOR, 2016).

A figura 18 demonstra o gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 a 2016 até a data de escrita deste trabalho, com os termos “biogás” e “energia” em seu resumo. O levantamento feito constatou 32 publicações nestes termos. As publicações, em sua maioria foram publicadas antes do período de 2011, no total de 25.

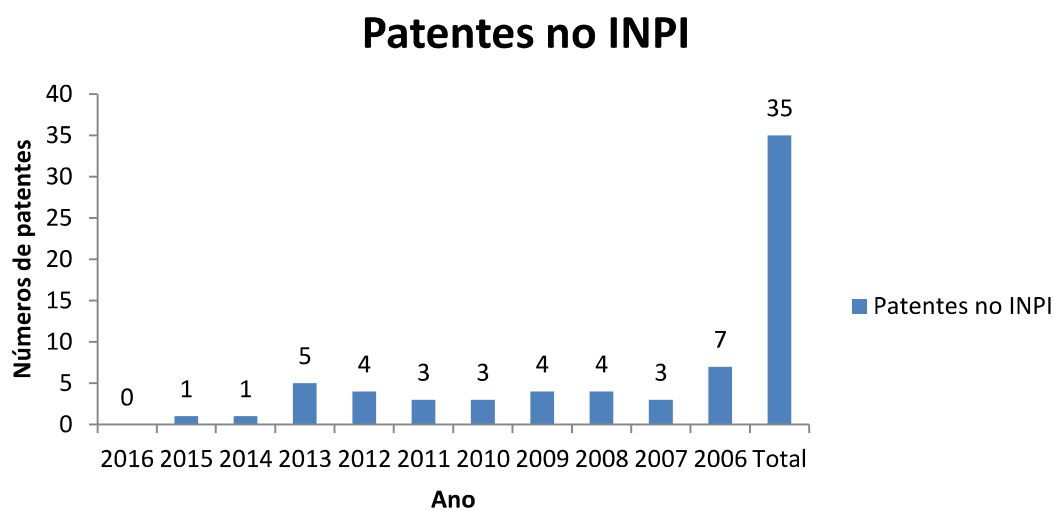


Figura 19: Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 e 2016 com o termo "biodigestor" em seu resumo

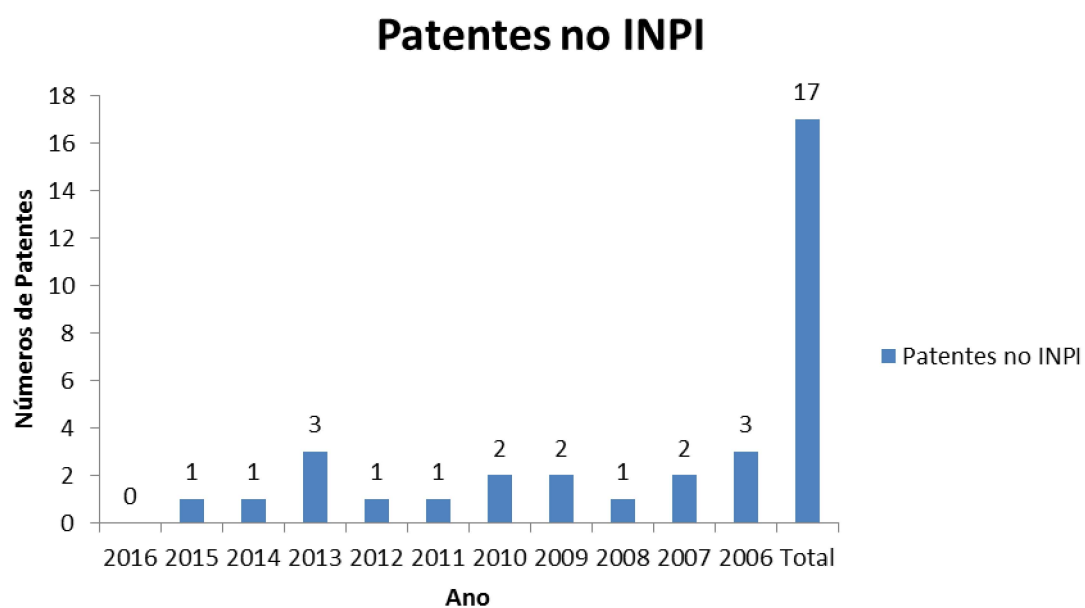


Figura 20: Gráfico referente aos números de patentes no INPI entre 2006 e 2016 com o termo "biodigestor" em seu título.

Observa-se que nas figuras 19 e 20, onde o termo pesquisado foi “biodigestor” no resumo e título respectivamente apresentaram patentes publicadas em todos os anos, de exceto em 2016(ate a data da escrita deste trabalho), porém com a maioria sendo publicada pré-2011.

È notável a diferença de quantidades publicadas de patentes no INPI nos períodos de 2006 a 2011 com os de 2011 ate 2016, sendo o primeiro período com maior número de patentes publicadas. Diversos aspectos acontecidos podem explicar esta diferença, dentre elas o Ministério da Ciência e Tecnologia, atual Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, o Plano Nacional de Tratamento de Resíduos Sólidos, o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) e o Plano Nacional da Agroenergia.

Dentre o período de 19 de julho de 2005 a 31 de Dezembro de 2010 manteve-se o mesmo Ministro, maior duração do cargo desde que a redemocratização, responsável pelo o Ministério da Ciência e Tecnologia (atual Ministério da Ciência e Tecnologia), sendo-o da área da ciência e tecnologia, com duração no cargo pode-se impor planos relacionados a ciência e tecnologia e dentre eles estão o incentivo a inovação tecnológica inclusive em relacionados a bioenergia e incluso a isto a produção de biogás.

O Plano Nacional de Tratamento de Resíduos Sólidos, decretada em 2010, onde se tem como uma das metas: “IV- metas para o aproveitamento energético dos gases gerados nas unidades de disposição final de resíduos sólidos” pode ter servido de incentivo para a produção de patentes durante os anos próximos de 2010.

O PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica) que conforme descrito no Decreto nº 5.025, de 2004, “foi instituído com o objetivo de aumentar a participação da energia elétrica produzida por empreendimentos concebidos com base em fontes eólicas, biomassa e pequenas centrais hidrelétricas (PCH) no Sistema Elétrico Interligado Nacional (SIN). De acordo com a Lei n.º 11.943, de 28 de maio de 2009, o prazo para o início de funcionamento desses empreendimentos encerra em 30 de dezembro de 2010”, pode ter sido um incentivo para a produção tecnológica nesta época. Os aderidos aos planos possuíram uma serie de incentivos e apoio de bancos público, BNDES e Banco do Brasil.

E o Plano Nacional da Agroenergia, criado pelo o MAPA (Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento), visando o período de 2006(data da criação) a 2011 tinha como objetivo “organizar e desenvolver propostas de pesquisa,

desenvolvimento, inovação e transferência de tecnologia para garantir sustentabilidade e competitividade às cadeias de agroenergia. Estabelece arranjos institucionais para estruturar a pesquisa, o consórcio de agroenergia e a criação da Unidade Embrapa Agroenergia. Indica ações de governo no mercado internacional de biocombustível e em outras esferas”, foi outro incentivo a inovação tecnológica no setor de biogás.

Em 2009, devido uma pane na distribuição de energia elétrica em ITAIPU, 18 estados ficaram sem energia durante algumas horas, posteriormente a este fato a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) institui a chamada Geração Distribuída de Energia, que se estabelece na incorporação de energia de outras fontes, que não seja a hidroelétrica, nas redes de distribuição de energia, dentre elas o biogás.

Todos os programas criados pelo o Governo Federal têm os mesmo objetivos que são a diversificação da matriz energética, fazer resíduos uma fonte de energia e renda, além de obedecer a normas estabelecidas dentro de programas ambientais mundiais, como o protocolo de Quioto e o MDL, Mecanismos de Desenvolvimento Limpo devido a grande carga poluidora que a matéria orgânica apresenta a ser. Porém, mesmo com os mesmos objetivos e problemas a serem selecionados, é notório a queda de produção tecnológica no setor de biogás e alguns fatores podem explicar isto.

Um dos fatores como resposta, é a não manutenção de um ministro da área a frente do Ministério da Ciência e Tecnologia, que seria o cargo governamental na liderança por incentivos a inovações tecnológicas. Outro agravante no setor energético influenciado por questões políticas é que a estrutural industrial do setor energético atual já é dominada pelo o capital privado. Com isto o processo de decisão dos investimentos é muito mais complexo e o governo tem pouco controle sobre este processo e as empresas investem apenas onde enxergam uma relação risco-retorno favorável aos investimentos que forem executados.

Somado ao fator relatado anteriormente, a política energética nacional vem mudando constantemente de prioridades de política energética, como mudanças de preços de combustíveis, prejudicando a rentabilidade do etanol; mudanças nas regras dos leilões de geração que acaba arbitrando a competitividade das diferentes fontes

energéticas, a política de preços; dentre outros, o que acaba criando nuvens de incertezas em que segmentos do setor energético investir e obter rentabilidade.

A crise mundial financeira e a atual crise política/econômica no Brasil pode ser outro agravante devido ao fato de recursos financeiros não estarem tanto disponíveis e a falta de agenda governamental contribui para esta baixa, além que o Brasil investiu em 13 anos (de 1999 a 2012) apenas R\$ 806 milhões em energias renováveis, o equivalente a 0,0013% do PIB, enquanto os Estados Unidos investiram US\$ 1,78 bilhão apenas em 2012 (0,0118% do PIB) e a Alemanha € 265 milhões (cerca de R\$ 715 milhões), 0,0095% do PIB, também no mesmo ano. Esse baixo investimento no passado, pode ter influenciado a baixa produção de patentes no setor de energias renováveis e em especial o biogás, por o mercado desacreditar no setor e não obter o retorno esperado.

CONCLUSÃO

O grande problema nos avanços de pesquisas em relação ao setor energético e principalmente ao que se refere a inovações no setor energias renováveis é a falta de uma convergência em relação ao futuro e as expectativas de curto-médio prazo em relação ao setor energético. Outros fatores agravantes são o país não ter a cultura da inovação tecnológica e o setor de biogás não ter força política. Com um plano energético bem definido, investimentos no setor seriam acelerados e o número de patentes industriais e consequentemente inovações tecnológicas ocorreriam em maior quantidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, Albino Rodrigues et al. Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores, p. 9-46 2012.

BLOG BGS: Histórico do Biogás [2013]. Disponível em : < <http://bgsequipamentos.com.br/blog/hello-world/>> . Acesso em: 05/05/2016.

CARNEIRO, Priscila Alves. Análise das tecnologias para gestão e reaproveitamento energético dos resíduos urbanos para reciclagem de plásticos, p. 26-28,2009.

Centro De Estudos Avançados Em Economia Aplicada – ESALQ/USP: PIB Agro CEPEA/USP/CNA. Disponível em: < <http://cepea.esalq.usp.br/pib/>>. Acesso em: 15/05/2016.

CNPMA - Embrapa Meio Ambiente . Disponível em <<http://www.cnpma.embrapa.br/projetos/index.php3?sec=agrog:::85>>. Acesso em: 15/05/2016.

DEGANUTTI, Roberto, Maria do Carmo Jampaulo Plácido Palhaci, and Marco Rossi. "Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada." *Proceedings of the 4th Encontro de Energia no Meio Rural* (2002).

DE OLIVEIRA, Matias Marchesan. Estudo da Inclusão de Compartimentos em Biodigestores Modelo Canadense, p.40, 2013.

EEA-Empresa de engenharia ambiental Ltda – Tratamento de esgoto- capítulo 5- tratamento anaeróbico, p.208, 2016.

FIGUEIREDO, Natalie Jimenez Verdi de. Utilização de biogás de aterro sanitário para geração de energia elétrica-estudo de caso, p. 56-61, 2011. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

Gestão de energia: Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, p.5-6 [2002/2003] a. Disponível em: <http://www2.dem.uc.pt/fausto.freire/gestao_energia/> . Acesso em: 30/04/2016.

GOUVEIA, Nelson. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social Solid urban waste: socio-environmental

impacts and prospects for sustainable management with social inclusion, p. 1054-1057, 2012.

ICLEI Resíduos: Resíduos. Disponível em <
http://www.iclei.org.br/residuos/site/?page_id=413>. Acesso em :20/03/2016.

Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI. Disponível em <
<https://gru.inpi.gov.br/pePI/jsp/patentes/PatenteSearchAvancado.jsp>>. Acesso em:
20/03/2016.

KARLSSON, T. et al. Manual básico de biogás. Lajeado: Ed. da Univates, p.37-45, 2014.

Manual para aproveitamento do biogás: volume um, aterros sanitários. ICLEI - Governos Locais pela Sustentabilidade, Secretariado para América Latina e Caribe, Escritório de projetos no Brasil, São Paulo, p.17, 2009.

MATOS, A. T. Tratamento de resíduos agroindustriais: curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais, p. 1, 2005.

OLIVEIRA, Rafael Deleo et al. Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono, p. 9-25, 2009.

PRADO, Marco Antônio Calil. Produção de biogás no tratamento dos efluentes líquidos de Coffea arabica L. em reator UASB para o potencial aproveitamento na secagem do café, p. 16-64, 2014.

PRATI, Lisandro. Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores. Monografia de conclusão do curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 13-29, 2010.

Programa de Capacitação em Energia Renováveis: O Biogás. ONUDI – Observatório De Energia Renováveis Para A América Latina E o Caribe, p. 24-113, 2016.

ROSA, M. F. et al. Valorização de resíduos da agroindústria. II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais–II SIGERA, v. 15, 2011.

SALOMON, Karina Ribeiro; LORA, Electo Eduardo Silva. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. *Biomassa & Energia*, p. 59, v. 2, n. 1, 2005.

SILVA, Cláudia Alexandre Batista Veloso et al. Limpeza e Purificação de Biogás, p.57-67, 2009.

VITORATTO, Elso. Tratamento de Efluentes Líquidos Orgânicos—Sistemas Anaeróbios. Proacqua Processos de Tratamento de Efluentes e Com. Ltda. Faculdade Oswaldo Cruz, São Paulo, 2004.

VAZOLLER, Rosana Filomena. Microbiologia e saneamento ambiental. 2002.

ZANETTE, André Luiz. Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil. 2009. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

ANEXO I

Em anexo, o certificado do módulo O Biogás do Programa de Capacitação em Energias Renováveis. Curso oferecido pelo o Observatório De Energias Renováveis Para a América Latina E o Caribe.



